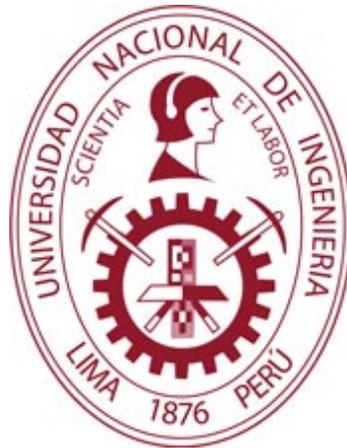


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA



**“ANALISIS DE FALLA EN LOS ACEROS DE
PERFORACIÓN COMO ESTRATEGIA DE
INCREMENTO DE LA VIDA UTIL DE LOS EQUIPOS
TOP HAMMER”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR:
ABEL NIELS ESCOBAR SARAICE**

**ASESOR:
MSc. Ing. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO**

Lima – Perú

2013

DEDICATORIA

A Catalina y Pedro,
mis amigos y amados padres

A George
mi amigo y hermano

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a Dios por brindarme la fé y la voluntad a lo largo de mi vida y carrera profesional, por haber estado conmigo en todos los momentos buenos y difíciles. Agradecer a mis amados padres, por toda la educación que me brindaron, motivaciones y sabios consejos.

Gracias a todos mis profesores de mi querida Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), por compartir sus conocimientos, ya que sin ellos no hubiera podido dar el primer paso para ser un ingeniero de minas.

A la Cía. SANDVIK DEL PERÚ S.A. por la oportunidad de permitirme conocer el rubro de la perforación mediante un enfoque diferente a través de las ventas y el servicio post-venta como: asistencia y asesoría técnica a diferentes clientes en sus respectivas obras por todo el Perú; lo que me permitió profundizar mis conocimientos en cuanto al ciclo de perforación y su gran importancia dentro del ciclo de trabajo.

RESUMEN

Este trabajo describe las múltiples aplicaciones de la perforación en obras civiles y en minería de superficie; desde principios de la perforación hasta como seleccionar el equipo adecuado, la columna de perforación adecuada y también describe los problemas como la sobreperforación y perforar sin afilar las brocas, falta de mantenimiento de los equipos de perforación, mal marcado de la malla de perforación en el frente, falta de personal con experiencia, etc.; repercute en generar mala perforación, mala voladura y por ende incremento en el costo de la operación.

También este trabajo describe soluciones a los problemas más comunes que se presentan en los aceros y equipos de perforación a través del acopio de información de dos años y medio que el autor colectó como Ingeniero Supervisor de equipos y aceros de perforación Top Hammer o martillo en cabeza, siendo participe de cómo hacer la selección de equipo para cada tipo de obra con su adecuada columna de perforación y dando solución a los problemas que suele suscitarse en obra en el momento de la perforación.

Al finalizar el trabajo se analizarán los principios básicos de la perforación, los diferentes tipos de aplicaciones actuales en el país, selección adecuada de equipo y sobretodo se entenderá que solucionando problemas como: sobreperforación de brocas, desviación de taladros, incumplimiento del mantenimiento periódico de los equipos de perforación, etc; obtendremos grandes ahorros y generaremos un buen producto final que es la fragmentación requerida para la siguiente actividad que es el carguío y acarreo.

ABSTRACT

This thesis describes the multiple drilling's applications in civil and surface mining works; from drilling knowledgments to how to select drilling accessories, so right drill rigs and also describes problems as like over drilling and to drill without sharp the bits, not maintenance of the drilling equipment, incorrect tracing of the drilling design in the working, the drilling workers without experience, etc.; all of these generate the worst drilling, the worst blasting and therefore the operation's cost increasing.

This thesis also describes solutions about problems more frequent that occur in drill steels and rigs when the author has collected information in two and half years during he was working as Supervisor Engineer of Equipment and drill steel of Top Hammer, and he knew how to make the selection of equipment for each type of work with appropriate drill string and giving solution to the problems that often occur in drilling work.

Finally, the thesis will analyze the basic concepts about drilling, the different types of applications in the country today, right selection of equipment and

this means that solving problems about of: over drilling of the bits, deviation holes, do not to work in periodic maintenance of the drills equipment, etc.; we are going to get better savings and to generate a good final product, the result is the required fragmentation for the following activity, loading and hauling.

INDICE

INTRODUCCIÓN	22
A. ANTECEDENTES	23
B. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	24
C. ALCANCES DEL ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS DIVERSOS PROBLEMAS OPERATIVOS	25
D. DESARROLLO DE LATESIS	27
CAPITULO I: MARCO TEORICO	29
1.1 MACIZO ROCOSO	29
1.1.1 Propiedades del Macizo Rocosos que Afectan a la Perforación.....	30
1.1.2 Estructura.....	33
1.1.3 Perforabilidad.....	34
1.2 PERFORACIÓN	35
1.2.1 Principios Básicos de la Perforación.....	36
1.2.2 Clasificación de la Perforación.....	36

A) Perforación por Percusión.....	37
B) Perforación por Rotación.....	38
C) Perforación por Rotopercusión.....	38
1.2.3 Sistemas de Perforación.....	39
A) Top Hammer (TH).....	40
B) Down The Hole (DTH).....	41
C) Giratoria.....	42
1.2.4 Tipos de Perforación.....	43
A) Perforación Manual.....	43
B) Perforación Mecánica.....	43
1.3 ACEROS DE PERFORACIÓN.....	44
1.3.1 Generalidades.....	44
A) Propiedades Mecánicas de los Aceros.....	45
1.3.2 Tipos de Roscas.....	49
A) Rosca R (Soga):.....	49
B) Rosca T.....	50
1.3.3 Shank Adapter o Adaptadores.....	50
1.3.4 Varillas o Barras.....	51
1.3.5 Coupling o Manguito de Acoplamiento.....	54
1.3.6 Brocas.....	54
CAPITULO II: PERFORACION MECANIZADA PARA OBRAS	
SUBTERRANEAS.....	57
2.1 GENERALIDADES.....	58

2.2 SELECCIÓN DE EQUIPO.....	61
2.2.1 Selección por el Tipo de Perforación.....	61
2.2.2 Selección de Acuerdo a la Sección del Túnel.....	62
2.2.3 Selección por Velocidad de Avance.....	66
2.3 SELECCIÓN DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN.	67
2.3.1 Aplicación Práctica: Central Hidroeléctrica Chaglla- Odebrecht.....	70
2.3.2 Aplicación Práctica: Central Hidroeléctrica Cheves – Churín.....	71
2.4 EQUIPO DT820 E INSTRUCCIONES DE BUEN USO.	72
2.4.1 Sistema de Perforación del Jumbo - DT820:.....	73
2.4.2 Instrucciones de Perforación.....	76
A) Percusión.....	76
B) Avance.....	77
C) Rotación.....	79
D) Barrido.....	81
2.4.3 Sugerencias Para la Perforación:.....	82
2.4.4 Parámetros de Perforación.....	86
2.4.5 Identificación de Parámetros de Perforación Incorrectos.....	87
2.4.6 Situaciones Especiales.....	90
A) Extracción de Barras Atascadas.....	90
B) Extracción de la Broca.....	91

C) Final de Turno.....	92
CAPITULO III: PERFORACION MECANIZADA PARA OBRAS	
SUPERFICIALES.....	95
3.1 GENERALIDADES.....	97
3.2 SELECCIÓN DE EQUIPO.....	99
3.2.1 DXs Series.....	102
A) Aplicaciones.....	103
3.2.2 DPs Series.....	106
A) Aplicaciones.....	107
3.3 SELECCIÓN DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN.....	109
3.3.1 Columna de Perforación - T38.....	111
3.3.2 Columna de Perforación - T45.....	112
3.3.3 Columna de Perforación - T51.....	113
3.3.4 Columna de Perforación - GT60.....	114
3.4 INSTRUCCIONES DE PERFORACIÓN.....	115
3.4.1 Principio de la Perforación por Percusión.....	116
3.4.2 Sugerencias para la Perforación.....	117
3.4.3 Situaciones Especiales.....	119
CAPITULO IV: FALLAS EN LOS ACEROS DE	
PERFORACIÓN.....	122
4.1 FALLAS EN BROCAS.....	122
4.2 FALLAS EN BARRAS.....	137
4.3 FALLAS EN SHANK.....	151

4.4 FALLAS EN COUPLINGS.....	163
CAPITULO V: EFICIENCIA EN LA PERFORACIÓN.....	167
5.1 AFILADO DE BROCAS.....	167
5.1.1 Beneficios del Afilado.....	172
5.1.2 Rendimientos de los Aceros de Perforación	
Sandvik.....	173
5.1.3 Rendimientos de Aceros por Tipo de Columna....	177
5.1.4 Cálculo de Requerimiento de Aceros de	
Perforación para una Obra.....	178
5.2 ALINEAMIENTO DEL TALADRO.....	180
CONCLUSIONES.....	183
RECOMENDACIONES.....	186
BIBLIOGRAFÍA.....	190

LISTA DE FIGURAS

	Pagina
FIGURA 01: SEGMENTOS DE NEGOCIO DE SANDVIK DEL PERÚ	24
FIGURA 02: MEJORAMIENTO CONTINUO EN UN PROCESO	26
FIGURA 03: CICLO DE LA ROCA	30
FIGURA 04: PERFORABILIDAD	34
FIGURA 05: CLASIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN	36
FIGURA 06: PENETRACIÓN POR PERCUSIÓN	37
FIGURA 07: PERFORACIÓN POR ROTOPERCUSION	38
FIGURA 08: SISTEMAS DE PERFORACIÓN	39
FIGURA 09: PERFORACIÓN TOP HAMMER	41
FIGURA 10: PERFORACIÓN DOWN THE HOLE	42
FIGURA 11: PERFORACIÓN GIRATORIA	43
FIGURA 12: MODULO DE YOUNG	46
FIGURA 13: ROSCA "R"	49
FIGURA 14: ROSCA "T"	50
FIGURA 15: SHANK ADAPTER "HL 1010"	50
FIGURA 16: ADAPTADOR LEYNER	51
FIGURA 17: ADAPTADOR ESTRIADO O CON ALETAS	51
FIGURA 18: BARRA TUNELERA DE DOBLE ROSCA	52
FIGURA 19: BARRA MF	52
FIGURA 20: TUBO GUÍA	53

FIGURA 21: COUPLING O ACOPLÉ	54
FIGURA 22: BROCA EN CRUZ	55
FIGURA 23: BROCA DE BOTONES	55
FIGURA 24: ACOPLÉ ENTRE BARRA Y BROCA	56
FIGURA 25: CICLO MINERO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL	58
FIGURA 26: EQUIPOS PARA TUNELERÍA	61
FIGURA 27: EQUIPOS PARA PRODUCCIÓN EN MINERÍA	62
FIGURA 28: EQUIPOS PARA SOSTENIMIENTO	62
FIGURA 29: CLASIFICACIÓN DE EQUIPO POR SISTEMA DE CONTROL	63
FIGURA 30: SERIE DE JUMBOS TUNELEROS	63
FIGURA 31: MODELO DE JUMBOS DE ACUERDO A LA SECCIÓN DE TÚNEL	64
FIGURA 32: SERIE DE JUMBOS MINEROS	65
FIGURA 33: SERIE DE JUMBOS PARA TALADROS LARGOS	65
FIGURA 34: SERIE DE JUMBOS MINEROS PARA TALADROS DE SOSTENIMIENTO	66
FIGURA 35: EVOLUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACEROS DE PERFORACIÓN	66
FIGURA 36: COLUMNA DE PERFORACION PARA TALADROS LARGOS EN MINERÍA	69
FIGURA 37: COLUMNA DE PERFORACION PARA TALADROS EN FRENTE	69
FIGURA 38: MARTILLO HIDRÁULICO SANDVIK	73
FIGURA 39: DIFERENCIAS ENTRE CARACTERÍSTICAS DE MARTILLOS HIDRÁULICOS DE DIFERENTES MARCAS	74
FIGURA 40: MODELOS DE MARTILLOS HIDRÁULICOS	75
FIGURA 41: PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	76
FIGURA 42: PERCUSIÓN	76

FIGURA 43: AVANCE	77
FIGURA 44: ROTURA DE SHANK POR EXCESIVA PRESIÓN DE AVANCE	79
FIGURA 45: ROTACIÓN	80
FIGURA 46: BARRIDO	81
FIGURA 47: COLUMNA DE PERFORACIÓN PARA JUMBOS TUNELEROS	82
FIGURA 48: EMPUJE DEL CILINDRO DE AVANCE CONTRA LA ROCA	82
FIGURA 49: MAL EMBOQUILLADO	83
FIGURA 50: CORRECTO BARRIDO DE DETRITUS	84
FIGURA 51: POSICIÓN INCORRECTA DE LOS BRAZOS DEL JUMBO	85
FIGURA 52: CILINDRO DE AVANCE RETRAÍDO	86
FIGURA 53: DESGASTE PERMISIBLE DEL INSERTO DE LA BROCA PARA AFILAR	91
FIGURA 54: POSICIÓN FINAL DEL BRAZO DEL JUMBO AL FINALIZAR LA OPERACIÓN	93
FIGURA 55: PERFORACIÓN SUPERFICIAL: DTH VS. TH	96
FIGURA 56: SELECCIÓN DE EQUIPO DE ACUERDO A DIÁMETRO REQUERIDO	99
FIGURA 57: SERIE DE PERFORADORAS TH DE SUPERFICIE	100
FIGURA 58: MODELO DE EQUIPO SEGÚN DIÁMETRO Y PRODUCCIÓN REQUERIDA POR GUARDIA DE 8 HORAS	101
FIGURA 59: MODELO DE EQUIPO SEGÚN DIÁMETRO Y PRODUCCIÓN EN MILLONES DE TONELADA AL AÑO	101
FIGURA 60: MODELO DE EQUIPO SEGÚN TIPO DE OBRA Y DIÁMETRO	102
FIGURA 61: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DXS	103

FIGURA 62: PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DXS	103
FIGURA 63: ÁREA DE COBERTURA DE LOS EQUIPOS DXS	104
FIGURA 64: PENDIENTE DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DXS	105
FIGURA 65: PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LOS EQUIPOS DXS	106
FIGURA 66: PENDIENTE DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DPS	108
FIGURA 67: PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LOS EQUIPOS DPS	108
FIGURA 68: CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRAS DE PERFORACIÓN PARA CADA TIPO DE ROSCA	109
FIGURA 69: COLUMNA DE PERFORACIÓN TÍPICA PARA EQUIPOS DE SUPERFICIE	109
FIGURA 70: TIPO DE BROCAS USADAS PARA EQUIPOS DE SUPERFICIE	110
FIGURA 71: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DPS	110
FIGURA 72: COLUMNA ESPECIAL DE PERFORACIÓN GT60	111
FIGURA 73: PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN EQUIPOS DE SUPERFICIE	116
FIGURA 74: COMBINACIÓN DE BARRAS EN LA COLUMNA DE PERFORACIÓN PARA EL DESGASTE UNIFORME	118
FIGURA 75: ROTURA DE BROCA POR LAVADO DE CUERPO	1123
FIGURA 76: ROTURA POR RAJADURA EN EL BORDE DE LA BROCA	124
FIGURA 77: GRIETA ENTRE LOS INSERTOS Y AGUJEROS DE LA BROCA	125
FIGURA 78: RAJADURA EN LA PARTE INFERIOR DE LOS INSERTOS	126
FIGURA 79: ROTURA ANULAR EN EL CUERPO DE LA BROCA	

	128
FIGURA 80: PERDIDA DE INSERTOS	129
FIGURA 81: MICROFISURAS O PIEL DE SERPIENTE EN LOS INSERTOS	130
FIGURA 82: ROTURA DE INSERTOS POR DEBAJO DEL CUERPO DE LA BROCA	131
FIGURA 83: INSERTOS TRITURADOS DENTRO DE LA BROCA	132
FIGURA 84: INSERTOS PICADOS	133
FIGURA 85: INSERTOS DESTRUIDOS BAJO EL NIVEL DEL CUERPO DE LA BROCA	135
FIGURA 86: INSERTOS AGRIETADOS	136
FIGURA 87: DESPRENDIMIENTOS DE INSERTOS A NIVEL DEL CUERPO DE LA BROCA	137
FIGURA 88: TIPOS DE DESCARTES FRECUENTES EN LAS BARRAS	138
FIGURA 89: SUPERFICIE DAÑADA DE LA BARRA	140
FIGURA 90: ROTURA DE BARRA POR EL CENTRO	141
FIGURA 91: DESGASTE EN LAS ROSCAS DE LAS BARRAS	143
FIGURA 92: FALLA EN EL COMIENZO DE LA ROSCA	145
FIGURA 93: PICADURA Y ROTURA EN LA ROSCA MACHO DE LA BARRA	146
FIGURA 94: PICADURA Y ROTURA EN LA ROSCA HEMBRA DE LA BARRA	148
FIGURA 95: ROTURA EN EL COUPLING DE LA BARRA	149
FIGURA 96: ROTURA LONGITUDINAL EN EL COUPLING DE LA BARRA	150
FIGURA 97: ROTURA EN EL CUERPO DE LA BARRA	151
FIGURA 98: PICADURA POR IMPACTO EN LA PARTE FINAL DE LAS ALETAS	152
FIGURA 99: FALLA A TRAVÉS DE LAS ALETAS	153

FIGURA 100:DESGASTE EN LA PARTE INFERIOR DE LAS ALETAS	154
FIGURA 101:ROTURA AL INICIO DE LA ROSCA	155
FIGURA 102:FALLA Y PICADURAS EN ROSCAS	157
FIGURA 103:FALLA EN EL CUERPO DEL SHANK	158
FIGURA 104:CORROSIÓN EN EL CUERPO DEL SHANK	159
FIGURA 105:PICADURAS Y GOLPES EN LAS ROSCAS	160
FIGURA 106:PICADURAS Y DESPOSTILLAMIENTOS EN LAS ALETAS	161
FIGURA 107:DESGASTE EXCESIVO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS ALETAS	162
FIGURA 108:ASTILLAMIENTO EN LA PARTE FINAL DE LA ROSCA	163
FIGURA 109:MARCA DE IMPACTO Y PICADURAS AL FINAL DEL COUPLING	164
FIGURA 110:ROTURA LONGITUDINAL	165
FIGURA 111:ROTURA TRANSVERSAL	166
FIGURA 112:TAMAÑO DEL INSERTO PARA EL AFILADO	168
FIGURA 113:IMPLEMENTACIÓN DEL TALLER DE AFILADO	168
FIGURA 114:BROCAS SOBREPORADAS	170
FIGURA 115:CORRECTO AFILADO	171
FIGURA 116:DIFERENCIA ENTRE MAL Y BUEN AFILADO DE INSERTOS	172
FIGURA 117:COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS SIN AFILAR Y AFILANDO LAS BROCAS	173
FIGURA 118:COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS DE BROCAS DE DIFERENTES MARCAS	175
FIGURA 119:COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACION DE DIFERENTES MARCAS	176
FIGURA 120:ERRORES COMUNES EN LA PERFORACIÓN	181

FIGURA 121:CONSECUENCIAS DEL MAL EMBOQUILLADO	181
FIGURA 122:FÓRMULA PARA CALCULAR LA DESVIACIÓN DEL TALADRO	182

LISTA DE TABLAS

	Pagina
TABLA 01: ESCALA DE MOHS	31
TABLA 02: CLASIFICACIÓN DE ROCA	32
TABLA 03: COMPARACIÓN ENTRE MINERÍA Y OBRA CIVIL	40
TABLA 04: COLUMNA DE PERFORACIÓN ADECUADA PARA C.H. CHAGLLA-ODEBRECHT	70
TABLA 05: COLUMNA DE PERFORACIÓN ADECUADA PARA C.H. CHEVES	71
TABLA 06: CARACTERÍSTICAS DE LOS MARTILLOS HIDRÁULICOS SANDVIK	75
TABLA 07: PRESIONES DE TRABAJO PARA EL JUMBO DT820	87
TABLA 08: CONSECUENCIAS DEL MAL USO DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	87
TABLA 09: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPO DPS	107
TABLA 10: PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DPS	107
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T38	111
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T45	112
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T51	113
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA GT60	114

TABLA 15: RENDIMIENTO DE LAS BROCAS SANDVIK EN DIFERENTES OBRAS	173
TABLA 16: ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL BENEFICIO DEL AFILADO	174
TABLA 17: DATA DE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACIÓN EN PRUEBA	174
TABLA 18: DATA DE RENDIMIENTO POR CADA COMPONENTE DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN	175
TABLA 19: DATA DE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACIÓN SANDVIK	176
TABLA 20: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T38	177
TABLA 21: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T45	177
TABLA 22: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T51	178
TABLA 23: CALCULO DE REQUERIMIENTO DE ACEROS DE PERFORACIÓN	178
TABLA 24: RESULTADOS DEL REQUERIMIENTO DE ACEROS DE PERFORACIÓN PARA C.H. CHAGLLA - ODEBRECHT	179

INTRODUCCIÓN

Se considera que la perforación de rocas, es la actividad que más ha contribuido al progreso y desarrollo de la humanidad. Bajo la premisa que, gracias a ésta actividad ha sido posible no solo extraer recursos minerales de la corteza terrestre sino también realizar grandes obras civiles mediante perforación subterránea como: construcción de túneles para hidroeléctricas, túneles que crucen un cerro o montaña para el tránsito vehicular que generen menor tiempo en el traslado de un punto a otro y en el futuro la construcción de túneles para el tránsito subterráneo en la ciudad; a la vez también se tiene la perforación en superficie para elaboración de plataformas para diversos trabajos, construcción de vías para comunicar pueblos y países, haul road para el transporte en mina, construcción de canales, entre otros. Toda esta demanda en obras ha hecho que se requiera fabricar maquinarias, equipos, herramientas y materiales de alta tecnología que permitan acabar los trabajos en el menor tiempo posible, lo cual conlleva a innovar y mejorar todo un proceso de fabricación mediante estudios

científicos. En resumen, se puede decir que para alcanzar el progreso y desarrollo, es útil y necesaria la excavación en la corteza terrestre.

A) ANTECEDENTES

Sandvik del Perú S.A. es una empresa de origen Sueco fundada en 1862, con presencia en más de 150 países alrededor del mundo. Desde sus inicios, la estrategia de Sandvik estuvo focalizada en productos de alta calidad y valor agregado, inversión en investigación y desarrollo al tener un contacto cercano con el cliente y la exportación.

Esta estrategia se mantiene vigente hasta la actualidad. La principal actividad comercial de Sandvik del Perú S.A. es la importación, comercialización, mantenimiento de maquinaria pesada y accesorios de perforación para minería y obras civiles, estos servicios se desarrolla en diferentes unidades de producción minera y obras en todo el país.

En la actualidad Sandvik del Perú S.A. ofrece la más amplia gama mundial de herramientas y sistemas de herramientas para la perforación en roca. Muchas herramientas son únicas y todas ellas están basadas en la tecnología de punta derivada del conocimiento de un siglo de Sandvik en aceros especiales, y del liderazgo mundial de la compañía en carburo cementado.

Segmentos de Negocios	Minería Subterránea	Minería de Superficie	Construcción
Aplicaciones para las Herramientas	<p>Avance túneles y galerías</p> <p>Perforación de producción</p> <p>Perforación para pernos</p> <p>Excavación de pozos y chimeneas</p> <p>Perforación manual</p>	<p>Perforación de bancos</p> <p>Minería continua</p>	<p>Perforación de bancos</p> <p>Túneles</p> <p>Pozos y Chimeneas</p> <p>Mantenimiento de caminos</p> <p>Ingeniería civil</p> <p>Piedra ornamental</p> <p>Perforación manual</p>
	<input type="checkbox"/> Aplicaciones TH, DTH y RaiseBoring		

FIGURA 01: SEGMENTOS DE NEGOCIO

Fuente: Revista Mensual Sandvik 2009

Debido a que el Perú es un país minero, Sandvik tiene dos áreas de negocios que son: Sandvik Minería que abarca la minería subterránea y superficial y Sandvik Construcción que abarca obras civiles y minería en fase de preparación y desarrollo tal como se visualiza en la figura 01.

B) OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- a) Establecer los criterios de selección de equipos de perforación para cada trabajo específico.
- b) Establecer la adecuada selección de columna de perforación para cada tipo de macizo rocoso o tipo de obra.
- c) Describir la perforación Top Hammer (TH) desde los conceptos básicos hasta sus aplicaciones en campo.

- d) Describir las causas comunes de desgaste prematuro y dar las respectivas soluciones a cada problema en los componentes de la columna de perforación.
- e) Mostrar los rendimientos alcanzados por los aceros Sandvik en diferentes obras y tipos de roca.
- f) Dar alcances de cómo obtener una alta eficiencia en la perforación con la aplicación de algunas técnicas como control de desviación de taladro, afilado de brocas y adecuada presión de aire.

C) ALCANCES DEL ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS DIVERSOS PROBLEMAS OPERATIVOS

Debido a que el Perú es un país emergente, requiere no solo innovar infraestructura sino también construir grandes túneles carreteros que permita facilitar el intercambio comercial entre países y pueblos, canales para abastecimiento e irrigación, túneles para el tren subterráneo para así mejorar el tránsito urbano, túneles para generación de energía mediante la construcción de grandes hidroeléctricas, carreteras para acceder a nuevos proyectos mineros u otras obras, entre otros trabajos; lo cual implica mejorar las técnicas de perforación para hacer buen uso de los equipos y accesorios de perforación de última tecnología y eso se lograra, capacitando al personal encargado de dicho trabajo en nuevas técnicas a través de un ciclo de mejoramiento continuo como se presenta en el siguiente cuadro.

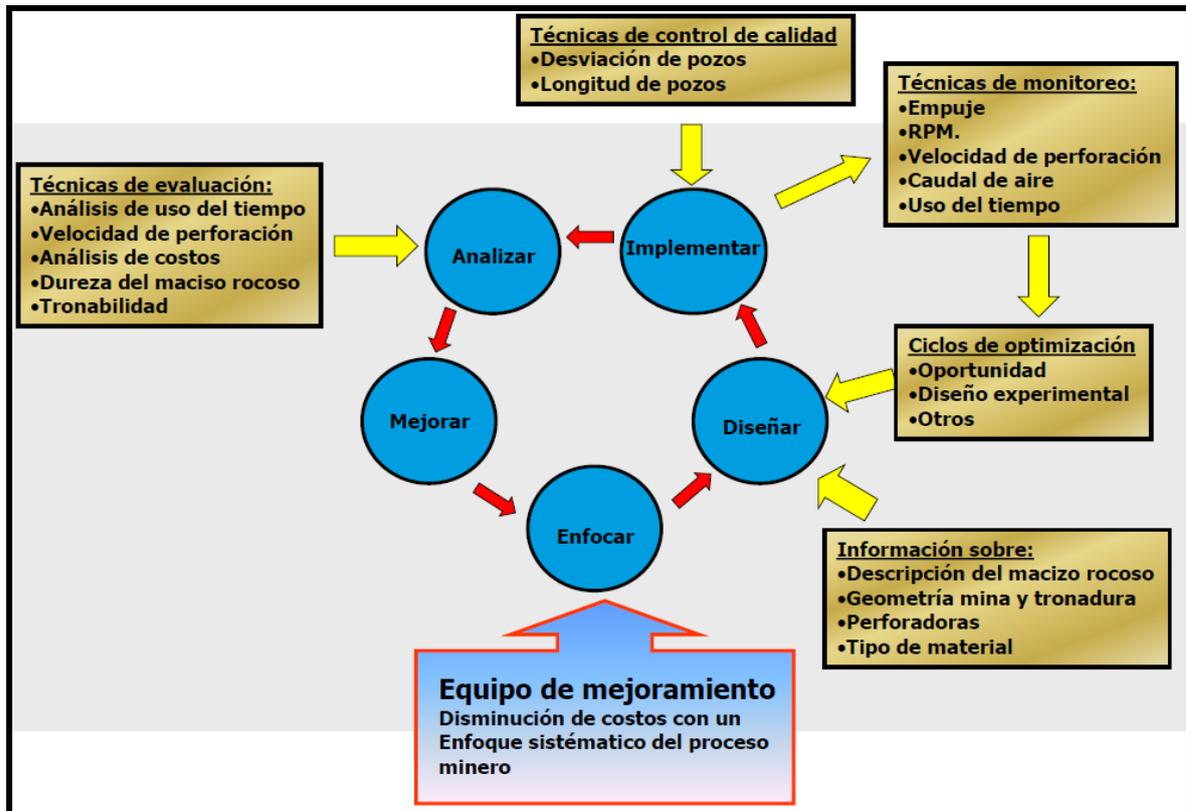


FIGURA 02: MEJORAMIENTO CONTINUÓ EN UN PROCESO

Fuente: Revista Mensual Sandvik 2009

Implementando estas técnicas lograremos hacer taladros de calidad que darán como resultado:

- ✓ Obtención de un buen avance.
- ✓ Fragmentación de acuerdo a la granulometría requerida.
- ✓ Excelente perfil de la labor y sobrerotura permisible.

En este trabajo solo se dará los alcances y pautas de cómo mejorar las técnicas en perforación Top Hammer tanto en obras civiles subterráneas y superficiales. Sin embargo son grandes referencias para la perforación Down The Hole (DTH) que es cuando el martillo perforador esta junto a la broca o

conocido también como martillo en fondo y la perforación Rotary que es la perforación con brocas tricónicas.

D) DESARROLLO DE LA TESIS

La realización del presente trabajo, surgió durante los estudios del autor en el curso de actualización de conocimientos en la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería. La idea de este trabajo es compartir y transmitir la experiencia que el autor adquirió, durante los años que estuvo laborando en Sandvik del Perú S.A., en técnicas de perforación Top Hammer que ayudaran a mejorar esta actividad y que fueron aplicados en campo obteniendo las mejoras en el ciclo.

Este trabajo engloba todo los conceptos teóricos, concerniente al macizo rocoso como propiedades, estructura y perforabilidad; también se describe los conceptos básicos, clasificación, sistemas y tipos de perforacion y definición de todos los aceros de perforación que se usa para cada tipo de perforación que vamos a describir en este trabajo.

Luego de definir y tener bien claro los conceptos teóricos de todo lo que se va a describir, se hará la descripción completa de la perforacion mecanizada en obras subterráneas y superficiales mayormente del rubro civil, que fue donde el autor mayormente interactuó, donde consideraremos factores importantes como: selección de equipo, columna de perforación con

aplicaciones prácticas y uso correcto de los equipos de perforación tanto en trabajos subterráneos y superficiales.

También se profundizará lo que es el propósito de este trabajo, describir las fallas en los aceros que conforman la columna de perforación, que el autor solucionó en sus visitas a distintas obras tanto subterráneas como superficiales donde se dio soluciones preventivas que mejoró el ciclo de perforación.

Se considera importante también dar las pautas de cómo obtener una buena eficiencia en la perforación donde se describirá técnicas como el afilado de brocas y sus beneficios en forma cuantitativa y el control de alineamiento de taladro o como disminuir la desviación del taladro. Y finalmente, se describirá detalladamente las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron en todo este trabajo realizado que ayudaran a mejorar el ciclo de perforación como se mejoró en las obras que el autor visitó.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1 MACIZO ROCOSO

En toda construcción de un proyecto de excavación es de suma importancia contar con la información necesaria sobre las características litológicas estructurales, de los esfuerzos e hidrología de un macizo rocoso por ende se requiere llevar estas condiciones del macizo rocoso a valores numéricos, a fin de calcular y dimensionar a la obra y a sus etapas.

En la corteza terrestre se encuentra masas no consolidadas, masas muy firmes, masas sólidas y duras, estas masas rocosas tienen distintas propiedades por los diferentes componentes químicos o minerales que contienen, como pueden ser el cuarzo, calcita, feldespatos, etc. Las características de las rocas dependen en gran medida a su origen, clasificando en tres grupos que son: Rocas Ígneas, Rocas Sedimentarias y Rocas Metamórficas.

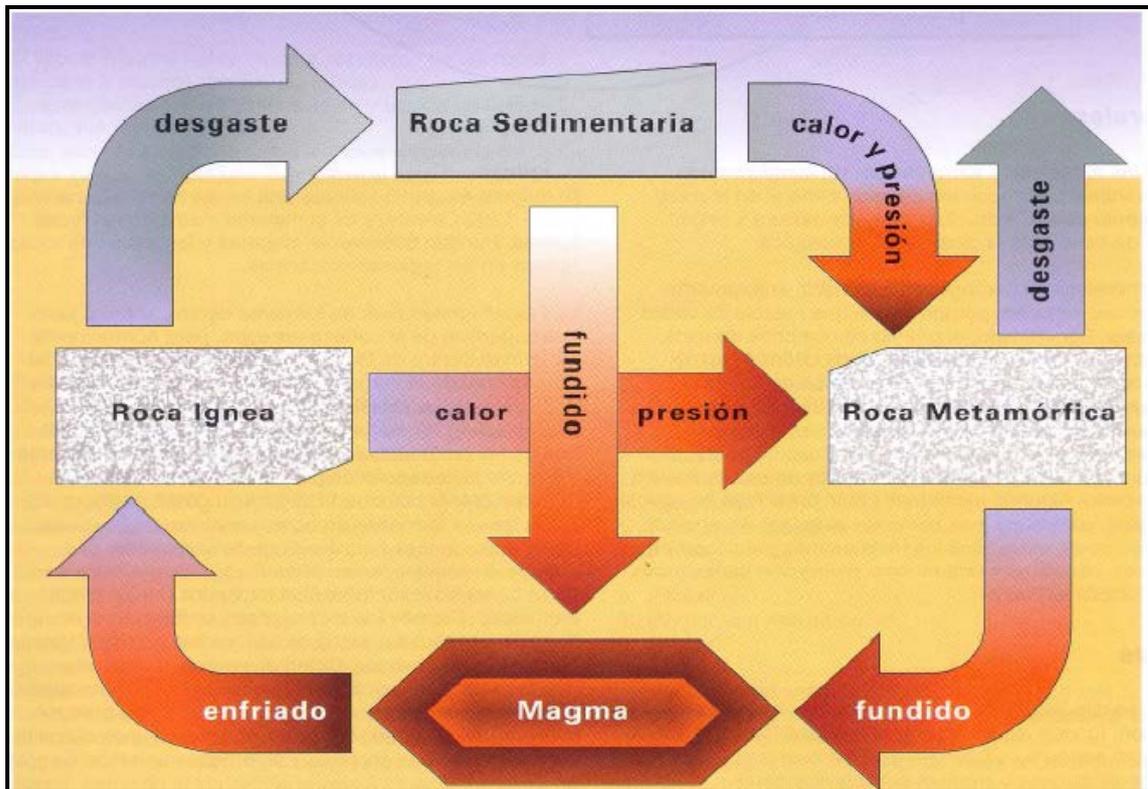


FIGURA 03: CICLO DE LA ROCA

Fuente: Presentación Sandvik Chile - 2009

1.1.1 Propiedades del Macizo Rocosos que Afectan a la Perforación

Las principales son: Dureza, Resistencia, Granulometría, Abrasividad, Elasticidad, Plasticidad y Textura.

A) Dureza: Es la resistencia de una capa superficial a la penetración en ella de otro cuerpo más duro. En las rocas está en función de la composición de los granos minerales constituyentes. La dureza se mide a través de la escala de Mohs, que toma en cuenta la posibilidad de que un mineral pueda rayar a todos los que tengan un número inferior al suyo.

TABLA 01: ESCALA DE MOHS

Dureza	Mineral	Se raya con / raya a	Composición Química
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre	$CaCO_3$
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo de acero	CaF_2
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo	$Ca_5(PO_4)_3(OH-,Cl-,F-)$
6	Ortosa	Se puede rayar con una lija para el acero	$KAlSi_3O_8$
7	Cuarzo	Raya el vidrio	SiO_2
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio	$Al_2SiO_4(OH-,F-)_2$
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de Silicio	Al_2O_3
10	Diamante	El más duro, no se altera con nada excepto otro diamante	C

Fuente: Curso de Perforación Rotativa Sandvik

* Existe una correlación entre dureza y resistencia a la compresión.

B) Resistencia a la Compresión: Propiedad de la roca a oponerse a su destrucción bajo una fuerza exterior, estática o dinámica. Esta resistencia depende también de la composición mineralógica; por ejemplo el cuarzo es el más sólido su resistencia supera los 500 MPa.

También depende del tamaño de los cristales y disminuye con el aumento de estos, debido a que intervienen las fuerzas de cohesión intercristalinas. Medida que indica la presión con la cual puede ser sujeta una muestra antes que se rompa. Es a menudo utilizado como una medida de perforabilidad de la roca.

TABLA 02: CLASIFICACIÓN DE ROCA

CLASIFICACIÓN DE ROCA	DUREZA DE MOHS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
Muy dura	+ 7	+ 200
Dura	6 - 7	120 - 200
Medio dura	4.5 - 6	60 - 120
Media suave	3 - 4.5	30 - 60
Suave	2 - 3	10 - 30
Muy suave	1 - 2	- 10

Fuente: Curso de Perforación Rotativa - Sandvik

- C) Abrasividad:** Es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo. Las rocas con granos grandes desgasta menos la broca que las rocas con estructura de grano fino.
- D) Elasticidad:** Esta propiedad, se caracteriza por el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. El primero relaciona el esfuerzo y la deformación normal, mientras que la relación de Poisson es el factor de proporcionalidad entre las deformaciones longitudinales y transversales, varía en la mayoría de los casos entre 0,2 y 0,4 (sólo en caso del cuarzo es de 0,07).
- E) Plasticidad:** La plasticidad de una roca, disminuye con el contenido de cuarzo, feldespatos u otros minerales duros. Las arcillas húmedas y algunas rocas homogéneas poseen algunas propiedades plásticas.
- F) Textura:** Se refiere a la estructura de los granos de mineral que constituyen la roca, como el tamaño, forma, porosidad, etc. Influye en el

rendimiento de la perforación. Perforar rocas con granos de forma lenticular es más difícil que perforar otra roca de granos redondeados. Asimismo, las rocas porosas tienen menor resistencia a la trituración, por consiguiente son más fáciles de perforar.

1.1.2 Estructura

La estructura es una de las propiedades del macizo rocoso que tiene mayor influencia sobre su resistencia. Las estructuras primarias, se generaron durante la génesis de las rocas, en caso de las rocas ígneas el enlace molecular entre los cristales que lo conforman, se traduce en estructuras resistentes; mientras que en las rocas sedimentarias que por su origen, son capas de granos enlazados indirectamente, que representan estructuras con planos de debilidad. Las estructuras secundarias, son las que se han generado como producto de las tensiones producidas durante el tectonismo, pueden presentarse aisladas o superpuestas entre sí y en distintas escalas como fallas (locales o regionales), fracturas y diaclasas (carácter local); estas estructuras tienen gran incidencia en las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, dependiendo de su disposición espacial, rumbo y buzamiento respecto a la dirección de la excavación. Las propiedades de las estructuras de los macizos rocosos, tales como planos de estratificación, fallas, etc. así como el rumbo y buzamiento de estas afectan a la linealidad de los taladros, a los rendimientos de los aceros de perforación y estabilidad de las paredes del taladro.

1.1.3 Perforabilidad

Es la capacidad de perforar con una broca una determinada roca. La perforabilidad de la roca es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión; a mayor velocidad de perforación menor resistencia a la compresión a menor velocidad mayor resistencia.

A) Factores que Afectan la Perforabilidad y el Desgaste de Brocas

- ✚ Tipo de Mineral.
- ✚ Tamaño de Grano.
- ✚ Contenido de Sílice.
- ✚ Estructuras, etc.

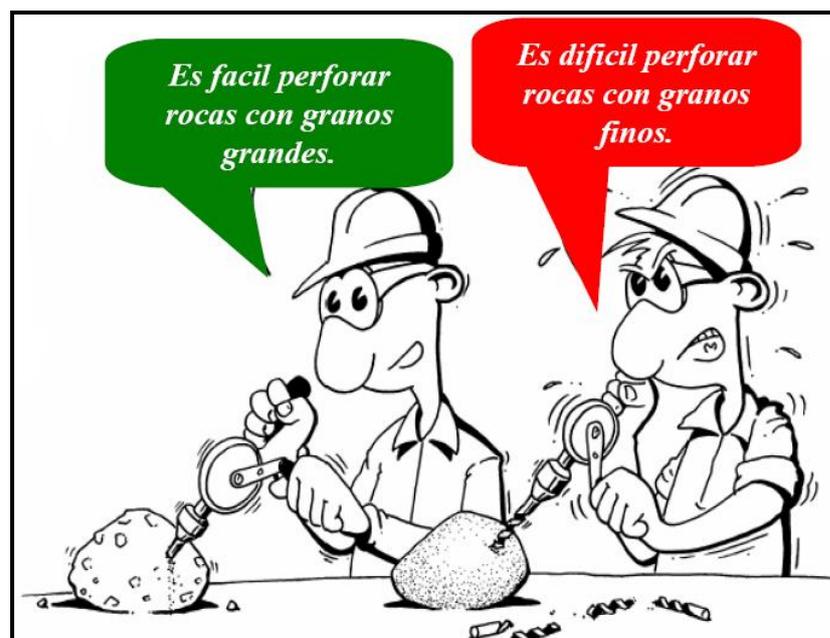


FIGURA 04: PERFORABILIDAD

Fuente: Curso de Perforación Rotativa Sandvik

B) Conclusiones al Respecto de la Perforabilidad

- ✚ Al perforar una roca, la broca trata de vencer la resistencia de la superficie de la roca y no la volumétrica.
- ✚ Cortar o perforar una roca es el arte de aumentar al máximo la formación de astillas y la eliminación del material rocoso en forma de detritus.
- ✚ El proceso de corte es una combinación de los siguientes modos de fractura de la roca:
 - ✓ Endentamiento del botón: corte, presión e impacto.
 - ✓ Desarrollo de fracturas.
 - ✓ Desprendimiento de astillas y liberación de presión.
 - ✓ Rotura múltiple.

1.2 PERFORACIÓN

Este método de fragmentación de roca, se caracteriza por tener los siguientes elementos comunes: a) Una fuente energía (perforadora, motores, pistones, etc.). b) Un medio de transmisión de energía (varillaje, ejes, fluidos, etc.). c) Elementos de corte (brocas, discos, rodillos, explosivos moldeados, cucharas, etc.). d) Evacuación de la roca fragmentada (agente de barrido, scrapers, tornillos, cadenas, fajas, etc.). La primera operación que se realiza

y tiene como finalidad abrir unos huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojar a las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores.

1.2.1 Principios Básicos de la Perforación

Sea cual sea el método a aplicar, el principio básico es vencer la resistencia a la compresión de la roca; pudiendo ser un elemento de corte, un botón o inserto de una broca que es lo que ataca a la roca.

1.2.2 Clasificación de la Perforación

Existen muchos tipos de perforaciones, clasificándose por el medio de energía que se emplea y aplicación que se va a realizar.

<ul style="list-style-type: none"> • Mecánicos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Percusión ➢ Rotación ➢ Rotopercusión • Térmicos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Sopletes o lanza térmica ➢ Plasma ➢ Fluido caliente ➢ Congelación • Hidráulico: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Chorro de agua ➢ Erosión ➢ Cavitación • Sónicos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Liberación de alta frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Químicos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Microvoladura ➢ Disolución • Eléctricos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Arco eléctrico ➢ Inducción magnética • Sísmicos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Rayo laser • Nucleares: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Fusión ➢ Fisión
--	---

FIGURA 05: CLASIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN

Fuente: Manual de Perforación de Rocas de Manuel López Jimeno

A pesar de la enorme variedad de clasificaciones posibles de perforación de roca, en minería y obras civiles la perforación se realiza actualmente, de una forma casi general, utilizando la energía mecánica. Por este motivo, en el presente trabajo se tratarán exclusivamente los métodos mecánicos, pasando revista a los fundamentos, útiles y equipos de perforación de cada uno de ellos. En este estudio describiremos con más detalle la perforación mecánica.

A) Perforación por Percusión: Es el mecanismo que fragmenta a la roca por pura percusión, la figura ilustra la fuerza que se transmite y va hacia la broca que es lo que tritura la roca. Se emplea básicamente para hacer rebajes (patillado), excavar rocas de baja dureza, desmenuzar fragmentos sobredimensionados, romper pavimentos.

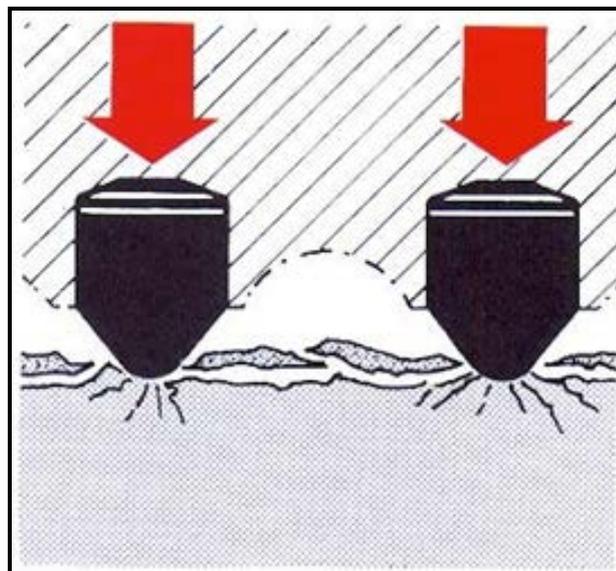


FIGURA 06: PENETRACIÓN POR PERCUSIÓN

Fuente: Capacitación de Sandvik 2010

B) Perforación por Rotación: Es el método de perforación que únicamente emplea la rotación y el empuje (Pulldown) para la perforar la roca, existen 2 tipos:

- Perforación rotativa con triconos.
- Perforación rotativa por corte.

C) Perforación por Rotopercusión: Utiliza el mecanismo combinado de percusión y rotación. Pertenecen a este grupo de equipos: a) Las perforadoras rotopercutivas con martillo en cabeza (Top Hammer, TH), y b) martillo en fondo (Down The Hole, DTH) a modo de ejemplo se ilustra en la figura un martillo que transmite la percusión mediante el tren de perforación que a la esta combinado con la fuerza de rotación que da como resultado mejor trituración de la roca.

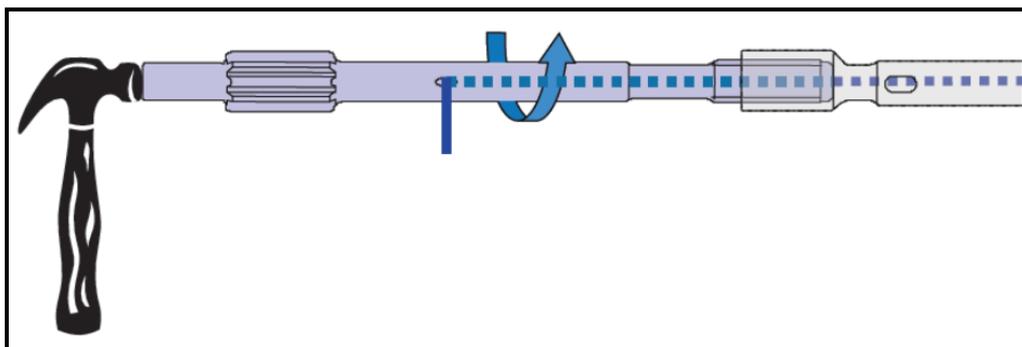


FIGURA 07: PERFORACIÓN POR ROTOPERCUSION

Fuente: Capacitación de Sandvik 2010

El principio de funcionamiento, se basa en los parámetros de percusión, rotación, avance y barrido.

1.2.3 Sistemas de Perforación

Se tiene 3 sistemas de perforación en minería y construcción que son:



FIGURA 08: SISTEMAS DE PERFORACIÓN

Fuente: Capacitación de Equipos DXs 2010 - Sandvik

La perforación TH y DTH aplica como método; la perforación por percusión porque:

- Necesita avance para mantener la broca en contacto con la roca en el taladro.
- Necesita rotación solamente para la indexación de la broca.
- Oscilación y marco bastante ligero permite el funcionamiento incluso en terreno difícil.

La perforación giratoria aplica como método el aplastamiento giratorio porque:

- ❖ Necesita una energía alta (Pulldown) presión.
- ❖ Necesita alta energía de torque para ser transportada a través de la sarta de perforación.
- ❖ Necesita un pesado marco principal para contar el balance del peso de las brocas.

A continuación se describirá brevemente a cada sistema.

A) Top Hammer (TH): También conocida como perforación de Martillo en Cabeza; donde la hidráulica es el principal medio de transferencia de energía de diésel a los golpes de percusión en la roca.

El poder de penetración se pierde en las juntas o roscas (2% - 6% de la energía generada por el martillo hidráulico) de los accesorios de la columna de perforación pudiendo perforar hasta una profundidad máxima de 30 m. En este sistema se tiene determinados equipos tanto para obras superficiales o subterráneas:

- Para trabajos de Superficie se tiene los siguientes equipos: DX500, DX680, DX700, DX800 conocidos como Rangers y DP1100 y DP1500 que es conocido como Panteras.
- Para Equipos Subterráneo se tiene los siguientes equipos: Jumbos para túneles, Jumbos para taladros largos y Equipos Manuales como

Jackles y Stoppers para frentes pequeños o trabajos de servicios auxiliares en mina.

Este sistema de perforación tiene menor consumo de combustible pero una mala perforación puede causar desviación de taladros.

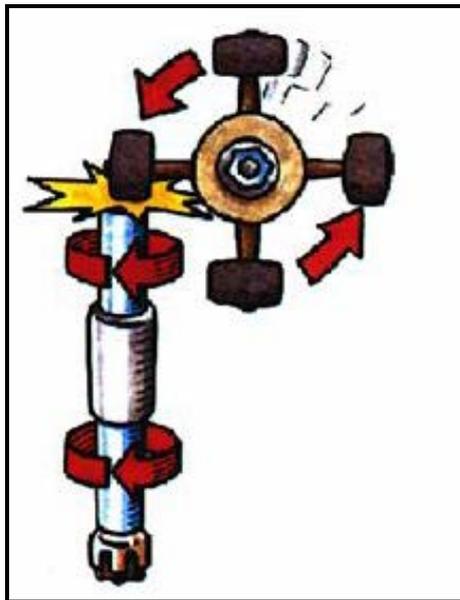


FIGURA 09: PERFORACIÓN TOP HAMMER

Fuente: Capacitación de Sistemas de Perforación - Sandvik

B) Down The Hole (DTH): También conocida como perforación Martillo de Fondo; donde el aire comprimido es el principal medio de transferencia de energía de diésel para el éxito de percusión en la roca; con este sistema de perforación se puede hacer taladros de hasta 40 m (máximo sobre 1 km) más rectos y precisos con menor nivel de ruido y uniforme poder de percusión.

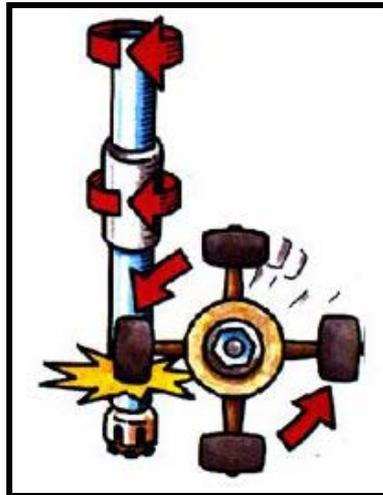


FIGURA 10: PERFORACIÓN DOWN THE HOLE

Fuente: Capacitación de Sistemas de Perforación - Sandvik

Las aplicaciones de este sistema son para terrenos duros y abrasivos en trabajos de perforación y entubado de pozo en forma simultánea para evitar caída de material al fondo del taladro. Otras aplicaciones son en fundaciones, ingeniería y construcciones urbanísticas con el sistema túbex.

- C) Giratoria:** Es el método de perforación que únicamente emplea la rotación y el empuje (Pulldown) para la perforar la roca, existen 2 tipos: Perforación rotativa con triconos y la perforación rotativa por corte; siendo la primera la de mayor aplicación. Este sistema es usado para alcanzar pozos de gran profundidad en formaciones con presencia de agua, en perforaciones de gran altura. Normalmente es usado en formaciones suaves y medias, tales como, arenas, arcillas y sobrecargas. Además se utiliza en formaciones altamente fracturadas. Es en este tipo de sistema que se usa las brocas triconicas.

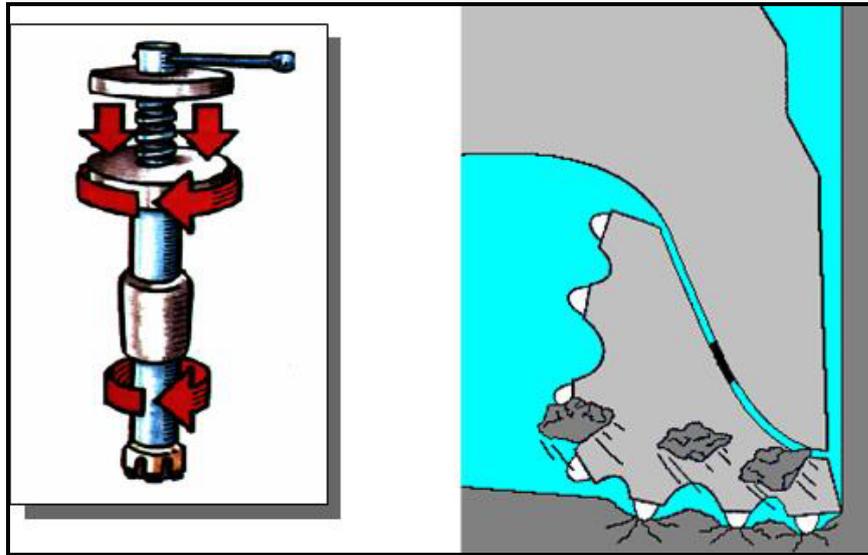


FIGURA 11: PERFORACIÓN GIRATORIA

Fuente: Capacitación de Sistemas de Perforación - Sandvik

1.2.4 Tipos de Perforación

- A) Perforación Manual:** Se lleva a cabo con equipos ligeros (Jackleg, Stopper) manejados a mano por el perforista y se utilizan en trabajos de pequeñas envergaduras donde por su dimensión no es posible utilizar una máquina.
- B) Perforación Mecánica:** Los equipos de perforación van montados sobre una estructura de tipo mecánico la cual permite que el operador trabaje con una mayor comodidad. Esta se divide en cinco perforaciones:
- ✚ **Perforación de banqueo:** Es el mejor método para la voladura de rocas ya que se dispone de un frente libre para la salida y proyección del material.

- ✚ **Perforación de avance de galería y túneles:** Se necesita abrir un hueco inicial hacia el que sale el resto de la roca fragmentada por las demás descargas.

- ✚ **Perforación de conducción:** Este término se utiliza en explotación de minería subterránea para aquellas labores de extracción del mineral.

- ✚ **Perforación de chimeneas:** Aplicable en muchos proyectos de minería subterránea y de obras públicas; es preciso abrir una chimenea o un taladro largo.

1.3 ACEROS DE PERFORACIÓN

1.3.1 Generalidades

En este estudio el autor describirá los aceros de perforación para la perforación rotopercutiva. Para realizar un trabajo de perforación específico pueden elegirse diversas combinaciones de aceros. Los factores que hay que considerar en la selección de adecuados aceros de perforación son: diámetro de taladro y longitudes, estructura, resistencia y abrasividad de las rocas, tamaño y potencia de la perforadora, experiencias anteriores y facilidades de suministro.

Dentro de los objetivos más importantes de los aceros de perforación se incluyen:

- Transmitir el movimiento y energía desde el martillo hidráulico hasta la broca para la trituración de la roca.

A) Propiedades Mecánicas de los Aceros

Es necesario conocer las propiedades mecánicas de los aceros, para poder discriminar el acero óptimo para la construcción de una columna de perforación y que está enfrente los desafíos para un determinado terreno.

También la información geológica es importante y condicionante, ya que existen rocas más duras y abrasivas que otras y es necesario contrarrestarla con un acero más duro y resistente a la fricción - desgaste. (Triconos y barras).

Existen propiedades mecánicas, que facilitan la decisión de un buen acero para la construcción de Columnas de Perforación. Estas propiedades son:

- **Límite de Fluencia:** Es la zona a partir de la cual el acero se deforma permanentemente. El módulo de Young deja de tener un valor constante.

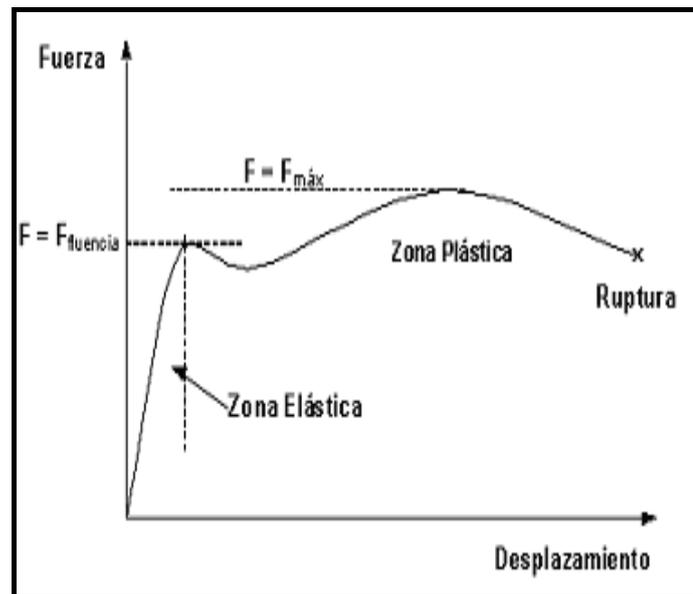


FIGURA 12: MODULO DE YOUNG

Fuente: Presentación de Aceros – Sandvik

- **Dureza:** Es la medida de resistencia de un material a la deformación permanente en su superficie, o sea, la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado.
- **Resistencia a Tracción:** Es la carga máxima que resiste el material durante su deformación, pasando posteriormente a la ruptura.
- **Elongación:** Define la ductibilidad del material, es decir, la capacidad para alcanzar grandes deformaciones sin romperse.
- **Fricción:** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- **Soldabilidad:** Capacidad de unir dos metales por medio de un material de aporte (soldadura).

- **Plasticidad:** Capacidad de un material para no recuperar su estado inicial.

Los aceros empleados en la fabricación de estas herramientas deben ser resistentes a la fatiga, a la flexión, a los impactos y al desgaste en las roscas y culatas en el shank.

Lo ideal es usar aceros con un núcleo no muy duro y una superficie endurecida y resistente al desgaste. Esta estructura se consigue en la práctica de dos formas:

- a. Aceros con Alto Contenido en Carbono:** Como el empleado en los barrenos integrales. La dureza deseada se consigue controlando la temperatura en el proceso de fabricación. La parte de la culata se trata por separado para conseguir una alta resistencia a los impactos.
- b. Aceros de Bajo Contenido en Carbono:** Usados en barras, adaptadores, acoples y brocas. Son aceros que contienen pequeñas cantidades de cromo o níquel, manganeso y molibdeno.

Los tratamientos a los que se someten los aceros suelen ser:

- ✓ Endurecimiento superficial HF (Alta Frecuencia).
- ✓ Calentamiento rápido hasta 900°C y enfriamiento brusco en agua. Se obtiene una alta resistencia a la fatiga y se aplica en varillas, manguitos y algunas bocas.

- ✓ Carburación: Aumento del contenido de carbono en la superficie del acero introduciendo las piezas durante algunas horas en un horno con una atmósfera gaseosa rica en carbono y a una temperatura de 925°C. Se usa en las varillas y culatas para conseguir una alta resistencia al desgaste.
- ✓ Bombardeo con perdigones de acero para aumentar la resistencia a la fatiga en los materiales no sometidos a los tratamientos anteriores.
- ✓ Protección frente a la corrosión, mediante fosfatación y aplicación de una fina capa de acero.

En cuanto al metal duro de los botones e insertos de las brocas, se fabrica a partir de carburo de tungsteno y cobalto por técnicas de polvometalotecnia. Este material se caracteriza por su alta resistencia al desgaste y tenacidad, y pueden conseguirse diferentes combinaciones variando el contenido en cobalto, entre un 6% y un 12%, y el tamaño de los granos del carburo de tungsteno.

La unión entre el acero y el metal duro se puede hacer con soldadura en las bocas de insertos y por contracción o presión en el caso de las bocas de botones.

1.3.2 Tipos de Roscas

Las roscas tienen como función unir el shank, los acoples, las barras y las brocas durante la perforación. El ajuste debe ser eficiente para que los elementos de la columna de perforación se mantengan bien unidos en el fin de conseguir una transmisión directa de energía. Sin embargo, el ajuste no debe ser excesivo pues dificultaría el desacoplamiento del conjunto de barras cuando éstas fueran retiradas del taladro.

Las características que determinan si las barras son fácilmente desacoplables o no son: el ángulo del perfil y el paso de rosca. Un paso mayor junto a un ángulo de perfil menor hará que la rosca sea fácil de desacoplar, comparando roscas de un mismo diámetro. En la actualidad para la perforación rotopercutiva los tipos de roscas más usados son:

A) Rosca R (Soga): Se usa en taladros pequeños con barras de 22 mm a 38 mm de diámetro y perforadoras potentes de rotación independiente con barrido de aire. Tiene un paso corto de 12,7 mm y un ángulo de perfil grande, se aprieta frecuentemente demasiado y es difícil de aflojarla.

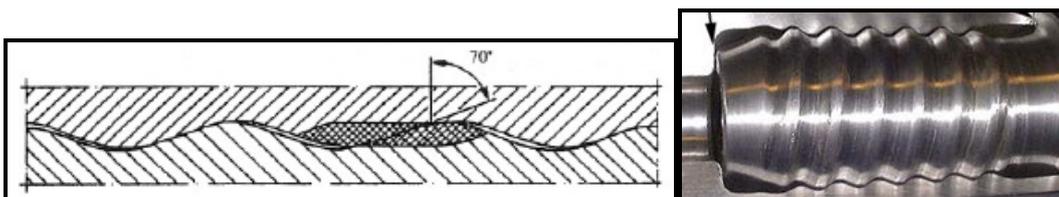


FIGURA 13: ROSCA "R"

Fuente: Manual de Perforacion de Rocas – Manuel Lópe Jimeno

B) Rosca T: Con respecto a la rosca R, la T tiene un mayor paso, lo cual tiene mejores características de aflojado, resulta así adecuada para la mayoría de las condiciones de perforación. La rosca T se fabrica en tamaños de 38 mm, 45 mm y 51 mm, y tiene mayor volumen de desgaste que la rosca R.

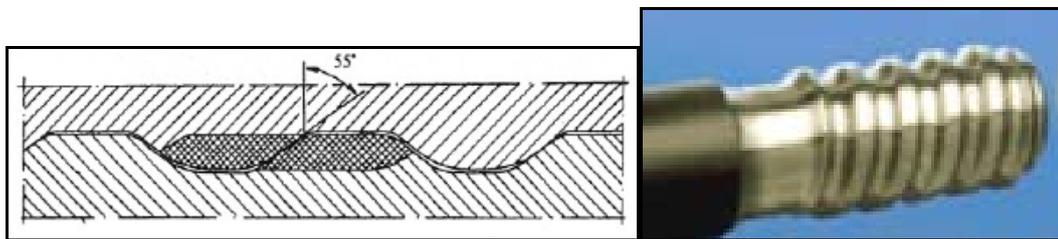


FIGURA 14: ROSCA “T”

Fuente: Manual de Perforación de Rocas – Manuel López Jimeno

1.3.3 Shank Adapter o Adaptadores

Los adaptadores de culata o espigas son aquellos elementos que se fijan a las perforadoras para transmitir la energía de impacto, la rotación del varillaje y el empuje.

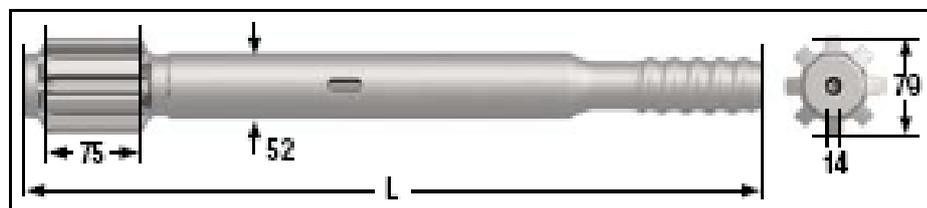


FIGURA 15: SHANK ADAPTER “HL 1010”

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

Básicamente, existen dos tipos de adaptadores: De arrastre Leyner y estriados.



FIGURA 16: ADAPTADOR LEYNER

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013



FIGURA 17: ADAPTADOR ESTRIADO O CON ALETAS

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

El primer tipo es usado con barras de 25 mm y 38 mm de diámetro, mientras que los adaptadores de estrías se emplean barras de diámetros de 38 mm, 44 mm y 52 mm, con martillos de rotación independiente y teniendo entre 4 y 8 aletas. En las modernas perforadoras con una potencia de impacto de, al menos, 25 kw los adaptadores se diseñan sin cola, zona delgada detrás de las estrías, reforzándose así la superficie de impacto.

1.3.4 Varillas o Barras

Son elementos de prolongación de la columna de perforación y define la longitud del taladro y son generalmente:

- ✓ Varillas o barras.
- ✓ Tubos.

Las primeras son las que se utilizan cuando se perfora con martillo en cabeza y pueden tener sección hexagonal o redonda. Las varillas tienen roscas externas macho y son acopladas por manguitos. También pueden tener roscas hembra para perforación en roca maciza o de constante granulometría

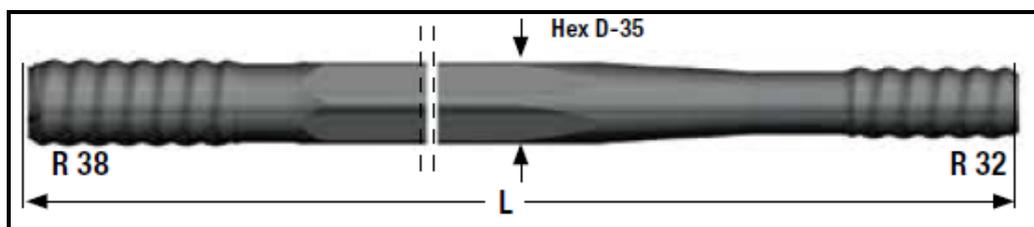


FIGURA 18: BARRA TUNELERA DE DOBLE ROSCA

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

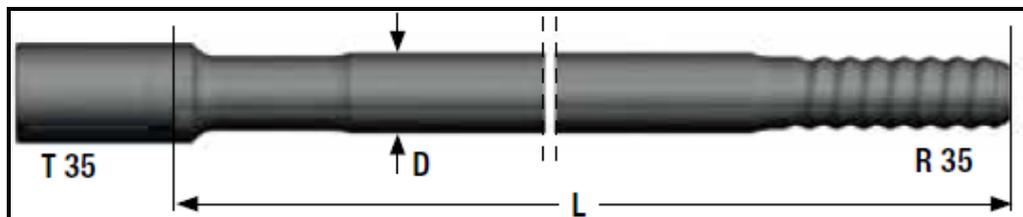


FIGURA 19: BARRA MF

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

Las barras de extensión de sección completa hexagonal o redonda tienen la misma dimensión en el centro de la barra que en las roscas. En las primeras el hexágono circunscribe al círculo que corresponde a las similares de sección redonda, por lo que son más rígidas y también un poco más pesadas, cuando las condiciones de perforación son tales que las vidas de las barras dependen sólo del desgaste de las roscas, se emplean barras con

roscas dobles o cuando el terreno es variable; para terrenos compactos y rígidos se emplea barra con rosca macho y hembra (MF).

En la perforación a cielo abierto, generalmente, las barras hexagonales se usan con equipos ligeros y cambio manual, mientras que las de sección redonda se utilizan cuando las perforadoras disponen de cambiadores, en los capítulos posteriores se verá a más detalle estas aplicaciones.

También existen en el mercado las barras cortas o tubos guía, que llevan una o dos secciones en los extremos con cuatro aletas exteriores longitudinales. Se fabrican con rosca macho y hembra en los extremos, con lo cual se eliminan los manguitos. Estas barras permiten realizar la perforación con desviaciones inferiores al 1% y son adecuadas tanto para la perforación de superficie como subterránea cuando se hacen taladros de 2 a 3 barras acopladas.

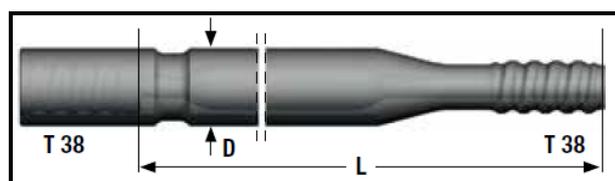


FIGURA 20: TUBO GUÍA

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

Los tubos guía se colocan detrás de la broca de perforación, proporcionando puntos de apoyo adicionales. El resto de la columna de perforación de apoyo está constituida por varillas de 45 mm a 51 mm. Como el tubo guía se

encuentra en el fondo del taladro tiene un efecto similar a una sarta formada totalmente por tubos.

1.3.5 Coupling o Manguito de Acoplamiento

Los Coupling o manguitos de acoplamiento sirven para unir las barras unas con otras hasta conseguir la longitud deseada con ajuste suficiente para asegurar que los extremos estén en contacto y que la transmisión de energía sea efectiva. También sirve para unir el Shank Adapter con la barra en la columna. Este sistema con Coupling es muy usado en trabajos de tunelería.

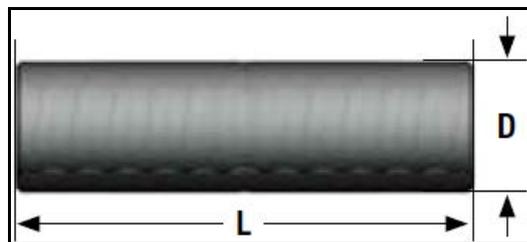


FIGURA 21: COUPLING O ACOPLA

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

1.3.6 Brocas

Las brocas que se emplean en la perforación rotopercutiva son de dos tipos:

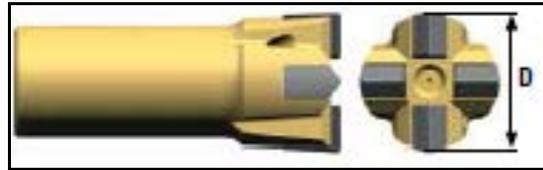


FIGURA 22: BROCA EN CRUZ

Fuente: Catalogo de Aceros Sandvik 2013

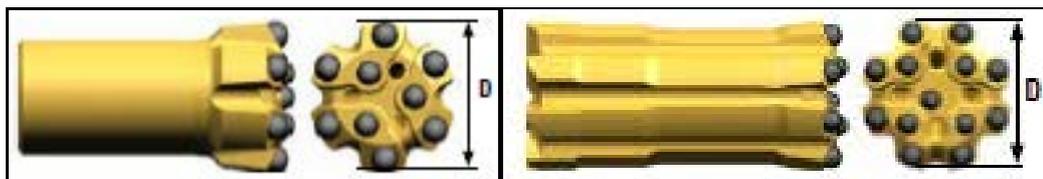


FIGURA 23: BROCA DE BOTONES

Fuente: Catalogo de Aceros - Sandvik 2013

Algunas características de diseño comunes a ambos tipos de broca son las siguientes:

- Las barras se atornillan hasta el fondo de la rosca de la broca con el fin de que la transmisión de la energía de impacto sea lo más directa posible sobre la roca.
- Las brocas disponen de una serie de orificios centrales y laterales por los que se inyecta el fluido de barrido para remover el detrito y poseen unas hendiduras o canaletas por las que pasan y ascienden las partículas de roca producidas.
- Las brocas se diseñan con una pequeña conicidad, siendo la parte más ancha la que está en contacto con la roca, con el fin de contrarrestar el desgaste que sufre este accesorio y evitar un ajuste excesivo con las paredes del taladro.

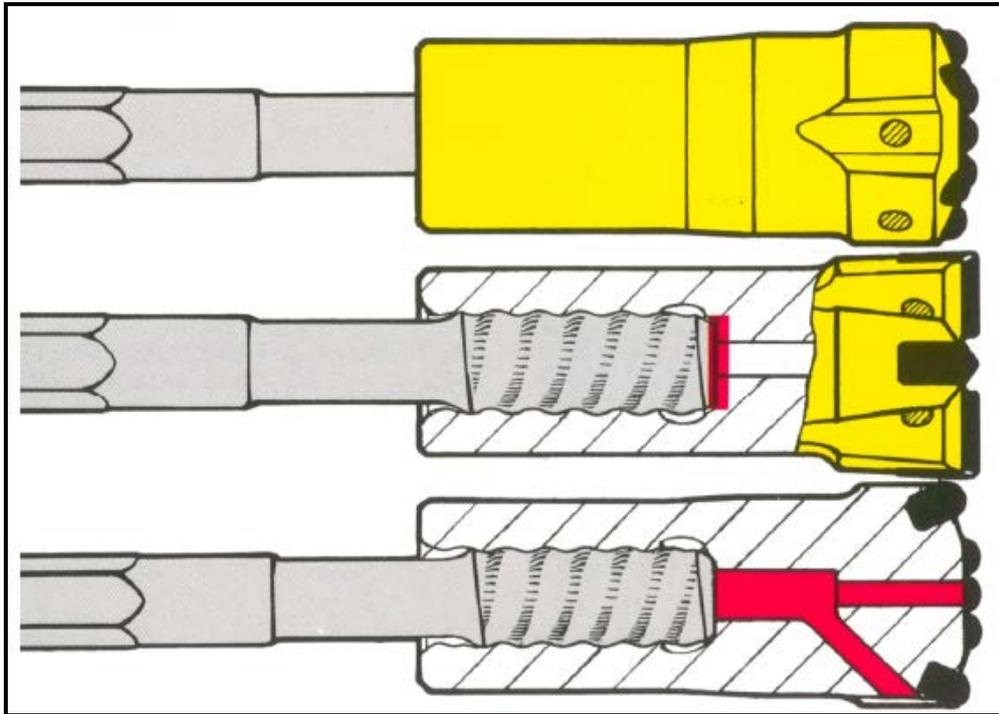


FIGURA 24: ACOPLÉ ENTRE BARRA Y BROCA

Fuente: Manual de Perforación de Rocas - Sandvik

Siendo los más usados las brocas con botones para perforación en minería y construcción civil debido a que el terreno varía de moderado a duro.

CAPITULO II: PERFORACION MECANIZADA PARA OBRAS SUBTERRANEAS

Los equipos de perforación van montados sobre unas estructuras (orugas, llantas), donde el operador controla en forma cómoda todos los parámetros de perforación. Existen distintos métodos de perforación de rocas, diferenciados principalmente por el tipo de energía que utilizan (Ejemplos: mecánicos, térmicos, hidráulicos, etc.). En minería y en obras civiles, la perforación se realiza, actualmente, utilizando energía mecánica.

La perforación mecanizada es realizada debido a la:

- ✓ Necesidad de incrementar los diámetros de perforación (sobre las 3").
- ✓ Automatización en la operación de perforación.
- ✓ Permite relacionar los parámetros de: rotación, avance, percusión, barrido con las características de la roca.
- ✓ Produce mayor velocidad de penetración y mayor rendimiento, se traduce en menor costo por metro perforado.

Dentro de nuestro estudio describiremos los diferentes equipos que Sandvik dispone para perforación subterránea en obras civiles y minería.

2.1 GENERALIDADES

La perforación mecanizada subterránea es realizada para perforaciones de avance de galerías y túneles. Son perforaciones preferentemente horizontales llevadas a cabo en forma manual o en forma mecanizada (Jumbos). Aquí se observa el ciclo minero para la construcción de un túnel.

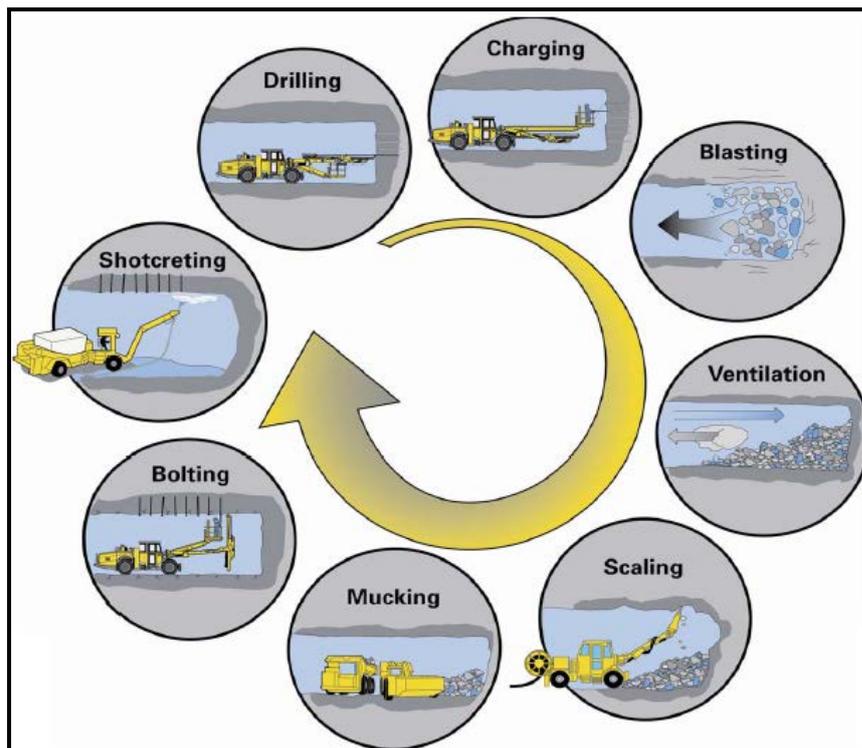


FIGURA 25: CICLO MINERO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL

Fuente: Perforación y Tronadura – Ronald Guzmán V.

La perforación tiene una gama de aplicaciones grande y variable, por eso hoy se tiene distintos dispositivos diseñados para tratar con distintas

maneras de perforación de roca. Los tipos de perforadoras comunes existentes en el mercado son:

- Perforadoras ligeras.
- Perforadoras de avance.
- Perforadoras para la perforación de taladros largos.
- Perforadora con martillo en fondo (DTH).

El perforista tiene una gama de perforadoras accionadas por aire o energía hidráulica, por medio de energía eléctrica de la mina. La perforadora hidráulica es un producto probado, superior a la perforadora neumática en términos de rendimiento, fiabilidad, consumo de energía, ambiente y costos operacionales.

Las perforadoras con rendimientos más altos son más pesadas y deben ser montadas en alguna forma de estructura, equipo de perforación, o Jumbo de perforación. Las perforadoras para la perforación de taladros cortos (de hasta 6 m., con una barra de una pasada), se conocen como perforadoras de avance. La perforadora de avance pesada es la más productiva y la primera elección del minero eficaz.

Las perforadoras de taladros largos son distintas de las perforadoras de galerías. En este caso se diseña el mecanismo de percusión para producir una onda de choque que se propaga por una larga cadena de barras, pasando por juntas con un mínimo de pérdidas de energía. La rotación de la

larga cadena de perforación requiere un par más alto que el de la barrena de una sola pasada.

La perforadora con martillo en fondo - DTH - es una alternativa a la perforadora convencional con martillo en cabeza para la perforación de barrenos largos. Aquí se incorpora el mecanismo de percusión en un tubo, martillando directamente en la broca.

La perforadora DTH entra primero en el taladro, seguida por una cadena de tubos que se extiende a medida que continúa la perforación. La perforadora DTH permite la perforación de taladros mucho más largos que las perforadoras con martillo en cabeza.

En resumen podemos visualizar en el siguiente cuadro, la comparación entre lo que significa hacer el mismo trabajo en diferentes rubros.

TABLA 03: COMPARACIÓN ENTRE MINERÍA Y OBRA CIVIL

Minería	Obra Civil
Para los mineros las metas de producción productiva son medidas en Toneladas o m ³ y es prioridad	Hacer el frente de avance del túnel tan rápido como sea posible.
Extraer las toneladas a un costo más bajo como sea posible.	Consideraciones detalladas de requerimientos en el diseño.
Minimizar la dilución del mineral.	Tiempo y costos están fuertemente relacionados. Material desmonte.
Asegurar una alta utilización de los equipos.	La utilización de los equipos es una prioridad secundaria.
Cumplir con las regulaciones de seguridad y medio ambiente.	Cumplir con las regulaciones de seguridad y medio ambiente.

Fuente: Perforación y Tronadura – Ronald Guzmán V.

2.2 SELECCIÓN DE EQUIPO

La selección de equipo se puede hacer considerando estos tres puntos:

2.2.1 Selección por el Tipo de Perforación: Esta selección se hace de acuerdo a las actividades que se van a realizar. Generalmente túneles en minería y obras civiles.

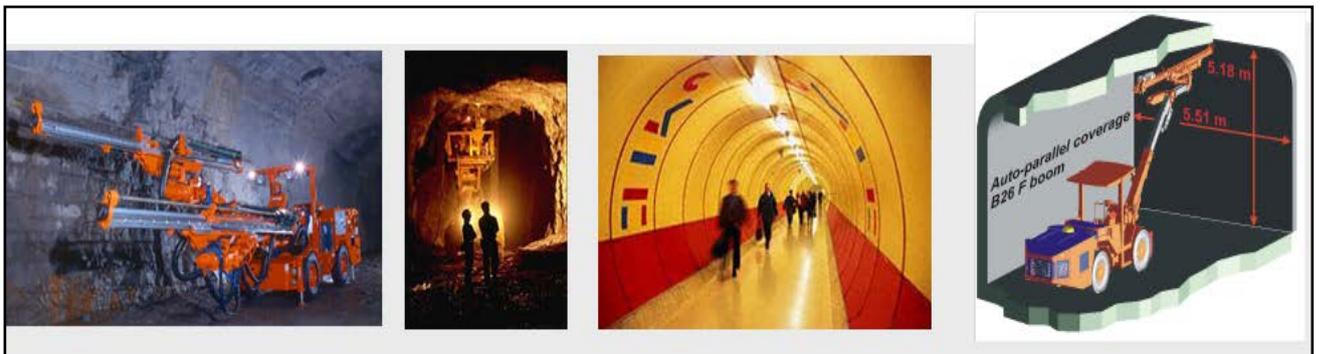


FIGURA 26: EQUIPOS PARA TUNELERÍA

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik



FIGURA 27: EQUIPOS PARA PRODUCCIÓN EN MINERÍA

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik



FIGURA 28: EQUIPOS PARA SOSTENIMIENTO

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

2.2.2 Selección de Acuerdo a la Sección del Túnel: Se hace la selección de acuerdo a la dimensión del frente de trabajo con que se desea trabajar. Para lo cual tenemos modelos de equipos con el número de brazos más la canastilla (Basket) para trabajos de sostenimiento. La longitud de la viga dependerá de cuanta profundidad se quiera que tenga el taladro.

Sistema Control	Modelo	# brazos	Cobertura	Largo Viga
Hidráulico <u>THC</u>	DT720	2 + basket (o)	10 - 70 m²	12 - 18 ft
	DT820	2 + basket (o)	12 - 111 m²	12 - 20 ft
	DT1020	2 + basket (o)	20 - 128 m²	14 - 21 ft
	DT1130	3 + basket (o)	20 - 183 m²	14 - 21 ft
Eléctrico <u>TPC</u>	DT720-S	2 + basket (o)	10 - 70 m²	12 - 18 ft
	DT820-S	2 + basket (o)	12 - 111 m²	12 - 20 ft
	DT1030-S	3 + basket (o)	20 - 128 m²	14 - 21 ft
	DT1130-S	3 + basket (o)	20 - 183 m²	14 - 21 ft
Automático <u>TDATA</u>	DT1030-SC	3 + basket (o)	20 - 125 m²	14 - 21 ft
	DT1130-SC	3 + basket (o)	20 - 177 m²	14 - 21 ft
	DT1230-C	3 + basket (o)	20 - 197 m²	14 - 21 ft
	T12 DATA-415	4 + basket (o)	20 - 188 m²	16 - 21 ft

(o) = optional

FIGURA 29: CLASIFICACIÓN DE EQUIPO POR SISTEMA DE CONTROL

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

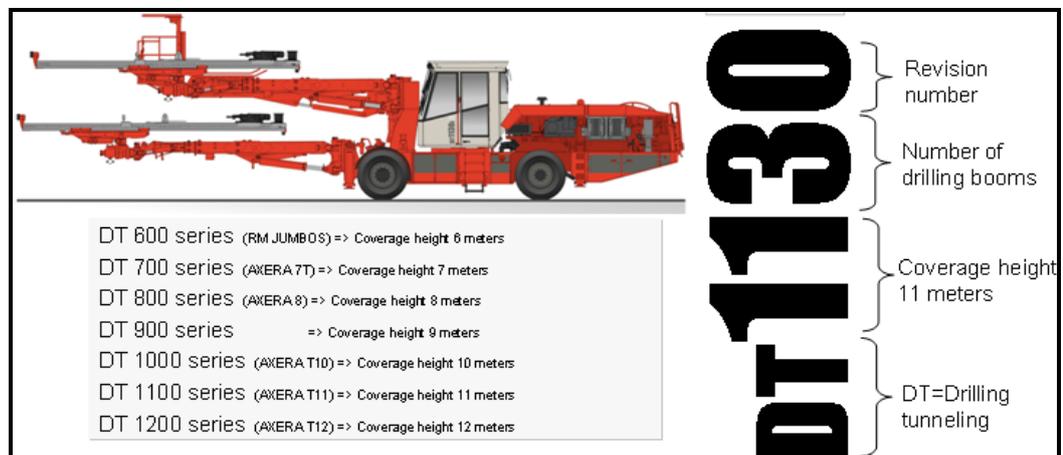


FIGURA 30: SERIE DE JUMBOS TUNELEROS

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

Serie de equipos Sandvik de acuerdo a la sección en túnel que se va a trabajar y al volumen por frente que se quiere tener por disparo; y también la longitud de taladro que puede perforar, siendo en tuneleria el más usado los

jumbos DT720 y DT820. Cabe resaltar que estos equipos vienen con sistema de navegación incorporado en las cabinas lo que permite que se perfora taladros con buen paralelismo y longitud requerida casi exacta, configurado en las pantallas del sistema llamado **T-CAD**.

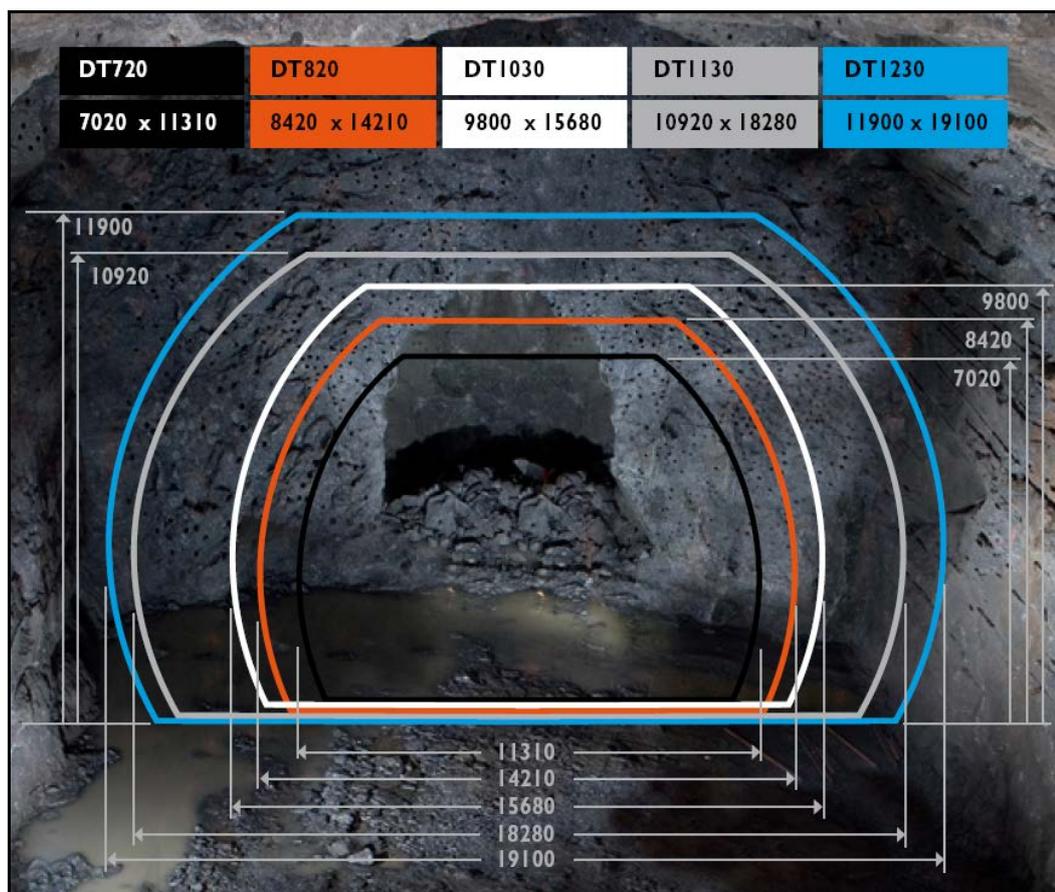


FIGURA 31: MODELO DE JUMBOS DE ACUERDO A LA SECCIÓN DE TÚNEL

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

A continuación observaremos los distintos tipos de jumbos para minería; tanto para perforación horizontal como para realizar taladros largos.



FIGURA 32: SERIE DE JUMBOS MINEROS

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

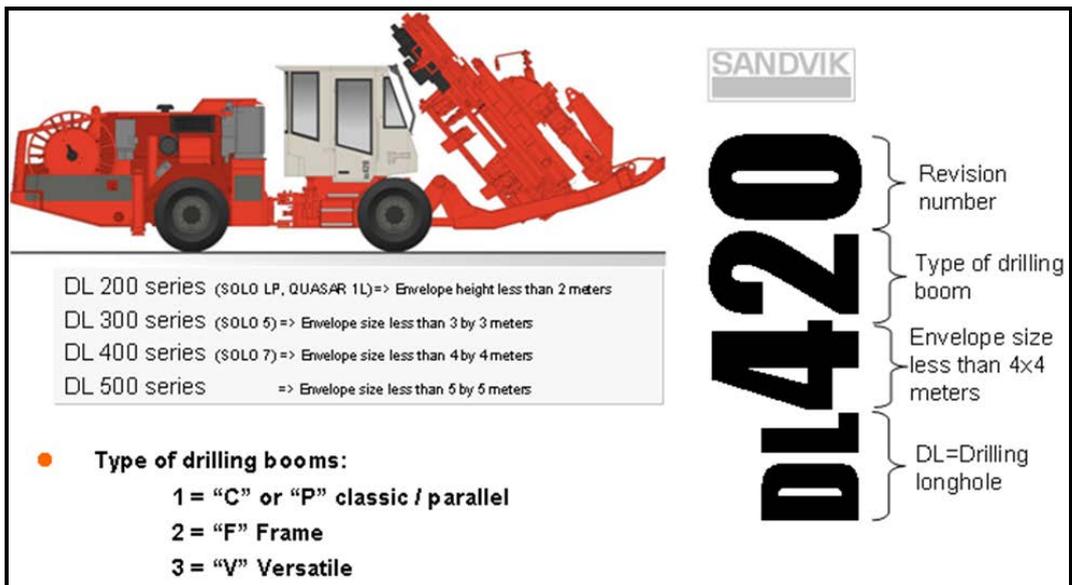


FIGURA 33: SERIE DE JUMBOS PARA TALADROS LARGOS

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

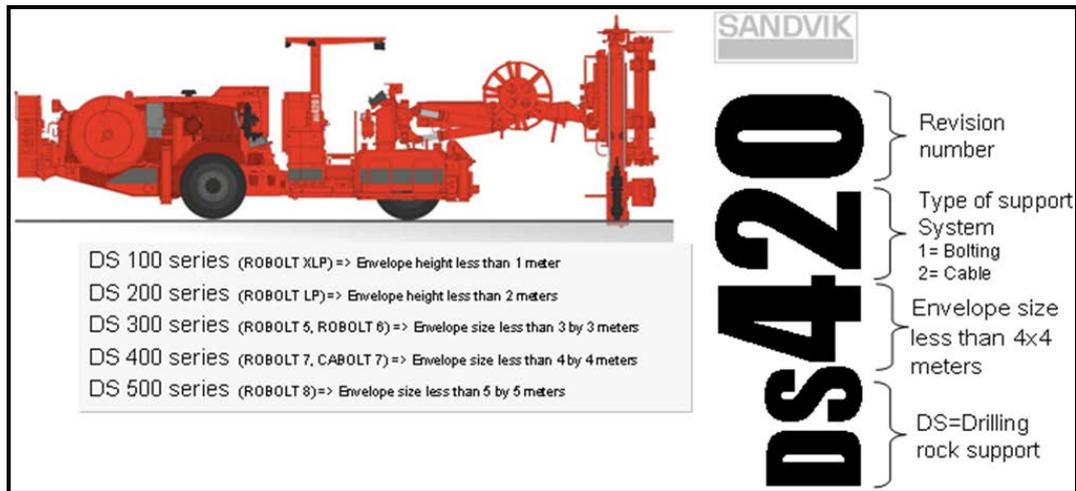


FIGURA 34: SERIE DE JUMBOS MINEROS PARA TALADROS DE SOSTENIMIENTO

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

2.2.3 Selección por Velocidad de Avance

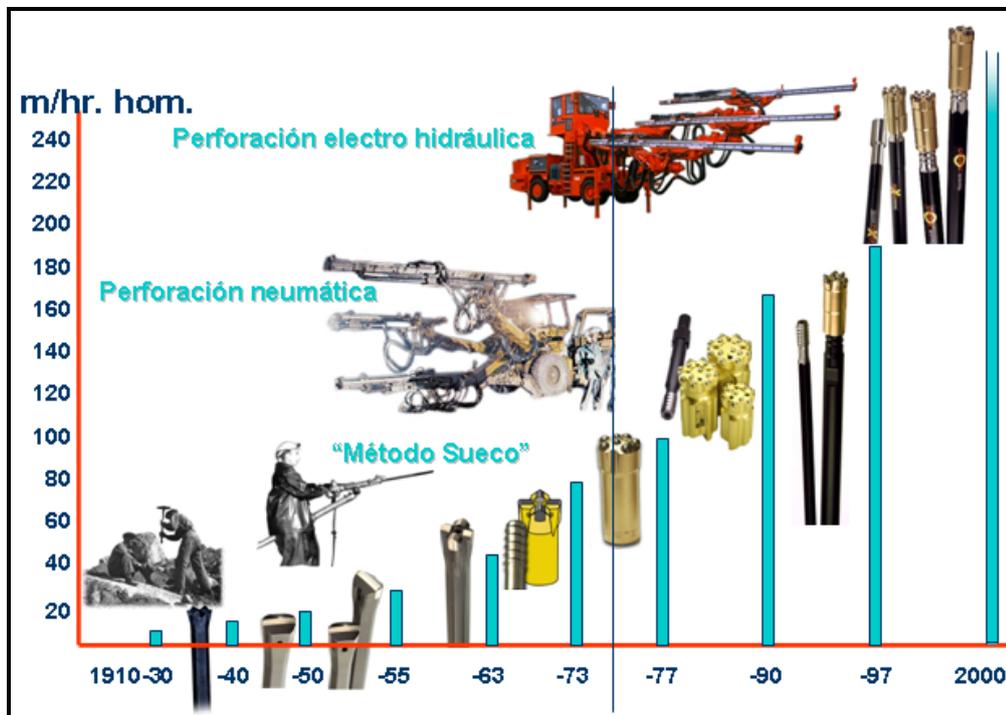


FIGURA 35: EVOLUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACEROS DE PERFORACIÓN

Fuente: Modelo de Jumbos – Sandvik

Como se visualiza en el gráfico, vemos la evolución en el tiempo de los métodos de perforación y siempre se ha tenido como objetivo obtener el máximo avance para lo cual se tuvo que realizar innovaciones tanto en equipos como en aceros de perforación.

En resumen, la velocidad de perforación depende de:

- ✓ La práctica y experiencia del perforista.
- ✓ La dureza y clase de roca.
- ✓ El tipo de martillo y estado del mismo.
- ✓ Del afilado de las brocas.
- ✓ De la presión del aire comprimido.
- ✓ De la presión del agua.

2.3 SELECCIÓN DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN

Para la selección del tipo de columna que se va a emplear se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ Tipo de obra (minería o civil).
- ✓ Tipo de trabajo (túnel, taladros largos, sostenimiento, drenaje, etc.).
- ✓ Dimensión del taladro.
- ✓ Modelo de martillo del equipo de perforación a usar.
- ✓ Tipo de roca de la labor.

- ✓ Dimensiones del explosivo a usarse.

A continuación se describirá como se selecciona cada componente de la columna de perforación:

- A. Shank Adapter:** Se selecciona de acuerdo al martillo del equipo, las dimensiones de las aletas o estrías dependerá del modelo del adaptador de bronce, que comunica la energía generada por el martillo al shank, una inadecuada selección de este componente podría ocasionar no solo daños a la columna de perforación sino también al equipo.
- B. Coupling:** Este componente se usa cuando se quiere conectar la barra de rosca doble, en un lado con el shank y por el otro con la barra, o se quiere realizar taladros de más de una barra como por ejemplo: taladros de drenaje y sostenimiento.
- C. Barra:** Se puede seleccionar tanto barra extensible o de doble rosca, que dispone en ambos extremos de roscas idénticas variando su longitud de 10' a 18', y la barra MF, que dispone de una rosca macho en un extremo y de una rosca hembra en el otro, su longitud es la misma que de las barras extensibles.
- D. Tubo guía:** Este componente se usa cuando se va a realizar taladros de más de 3 barras, sirve para conservar el alineamiento del taladro y evitar excesivas desviaciones.

E. Broca: Se tiene tanto broca de pastillas o broca de botones siendo esta ultima la más común en minería y tuneleria. La broca de botones tiene como ventaja que tiene una buena tasa de penetración, durabilidad y facilidad para afilar. Existen diversos tipo de brocas de botones destinadas a diferentes condiciones de perforación como las brocas de botones para taladro de producción y taladro de rimado. En el caso de la broca rimadora viene con el adaptador piloto.

Resumiendo en los siguientes cuadros, vemos que a partir de la selección del shank se elige los demás componentes.

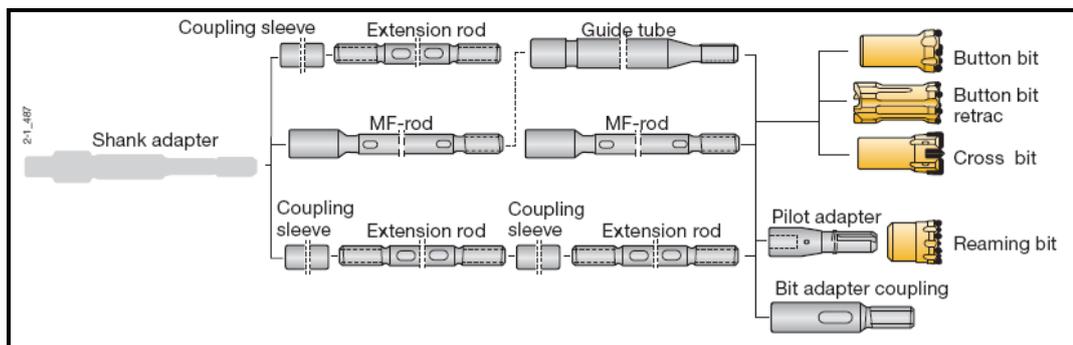


FIGURA 36: COLUMNA DE PERFORACION PARA TALADROS LARGOS EN MINERÍA

Fuente: Capacitación de Aceros de Perforación – Sandvik

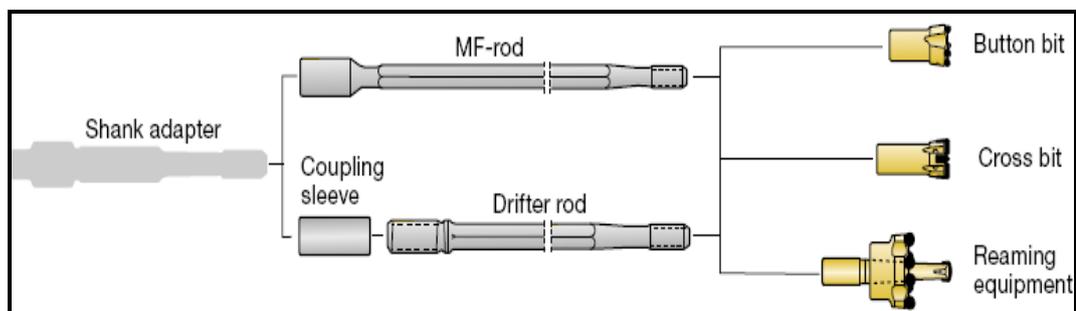


FIGURA 37: COLUMNA DE PERFORACION PARA TALADROS EN FRENTE

Fuente: Capacitación de Aceros de Perforación – Sandvik

2.3.1 Aplicación Práctica: Central Hidroeléctrica Chaglla-Odebrecht

Como ejemplo veremos la selección de la columna de perforación del proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla ubicado en Tingo María, donde se tienen 6 jumbos modelo DT820 con martillo perforador de modelo **HLX5 T** con las siguientes características:

- Potencia: 22 Kw.
- Frecuencia de impacto: 86 Hz.

Por lo tanto la columna adecuada para esta obra es:

- **Shank Adapter HLX5/T38.**
- **Coupling T38/R38.**
- **Barra R38/H35/R32.**
- **Broca de Botones Esféricos R32/38, 45 mm y 51 mm.**

TABLA 04: COLUMNA DE PERFORACIÓN ADECUADA PARA C.H. CHAGLLA-ODEBRECHT

Columna R32 (Código Sandvik)	Columna Alfa (Código Sandvik)	Descripción
7304-7585-01	7304-7585-01	SHANK H LX5 x T38
7314-3355	7314 - 3355	COUPLING SLEEVE T38
7324-6549-20	7324-4149-20	BARRA T38 x H35 x R32 x 16 pies
7733-5245A-S48	7766-5245-S48	BROCA DE BOTONES R32 - Diámetro45 mm
7721-4802-S45	7721-4802-S45	BROCA ESCARIADORA 12° - Diámetro 102 mm
7821-3440	7821-3040	ADAPTADOR PILOTO 12°

Fuente: Propuesta de Oferta Realizada a Constructora Odebrecht

En este último cuadro se hizo la oferta para la obra, tanto en columna normal o estándar como en columna Alfa que es una columna especial que emplea aceros con aleación reforzada.

2.3.2 Aplicación Práctica: Central Hidroeléctrica Cheves - Churín

Otro ejemplo que podemos ver es la elección de columna de perforación del proyecto Central Hidroeléctrica Cheves ubicado en Churín donde se tiene 6 jumbos modelo DT720 con martillo perforador de modelo **HLX5/T** con las siguientes características:

- Potencia: 20 Kw.
- Frecuencia de impacto: 86 Hz.

Por lo tanto la columna adecuada para esta obra es:

TABLA 05: COLUMNA DE PERFORACIÓN ADECUADA PARA C.H. CHEVES

Código (Columna Estándar)	Descripción
7304-7585-01	SHANK T38 H LX5/T D45 L500
7314-3355	COUPLING SLEEVE T38
7314-4455	COUPLING SLEEVE T38/R38
7324-9643-20	DRIFTER ROD T38 H35 R32 L=4305MM
7324-4737-70	MF ROD T38 R39 L=3660MM
7733-5251A-S48	BUTTON BIT R32 51MM RT300
7733-5245A-S48	BUTTON BIT R32 45MM RT300
7514-4664-S48	RETRAC BIT T38 64MM RT300
7821-3440	PILOT ADAPTER R32 12 DEG X 51.5MM
7721-4802-S48	REAMING BIT 12 DEG X 51.5MM 102MM

Fuente: Propuesta de Oferta Realizada a Constructora Cheves

2.4 EQUIPO DT820 E INSTRUCCIONES DE BUEN USO

Los equipos de perforación DT están diseñados para excavar túneles, realizar trabajos preparatorios y explotar minas. El DT820 es un jumbo electrohidráulico de dos brazos para una perforación rápida y precisa de túneles, y galerías de secciones transversales de 8 m² a 0,60 m². Los brazos poseen una amplia y óptica cobertura moldeada y un paralelismo completamente automático. Los brazos poseen una cobertura moldeada de forma óptima, con una rotación del avance de 358° y un paralelismo automático total para perforar el frente de manera rápida y sencilla. Los brazos se pueden utilizar para cortes transversales y perforación de taladros de sostenimiento. Puede disponer de un brazo de uso general opcional.

Veamos qué quiere decir la nomenclatura del modelo DT820:

- ✓ **D** = Drilling (Perforadora).
- ✓ **T** = Tunneling (Tunelera).
- ✓ **8** = Alcanza hasta 8 metros de altura de perforación.
- ✓ **2** = Cuenta con 2 brazos o vigas.
- ✓ **0** = No se le ha realizado ninguna modificación.

A la fecha esta serie de equipo se encuentran en diversas obras de gran envergadura dentro del Perú como:

- ❖ C.H. Chaglla en Tingo María, realizado por ODEBRECHT.

- ❖ C.H. Urubamba en Cusco, realizado por Graña y Montero en consorcio con Astaldi.
- ❖ C.H. Cheves en Churín-Lima, realizado por Constructora Cheves.

2.4.1 Sistema de Perforación del Jumbo - DT820

El equipo DT820 tiene perforadora HLX5 de hasta 20 Kw. De potencia de percusión y como opcional tiene estabilizadores hidráulicos de 2 etapas en los modelos HLX5T y HFX5T, teniendo alto rendimiento como:

A) Eficiencia y Performance

- Emboquillado automático.
- Parada y retorno automático.
- Anti-atasque automático.
- Barrido automático.
- Diagnóstico de su sistema automático.

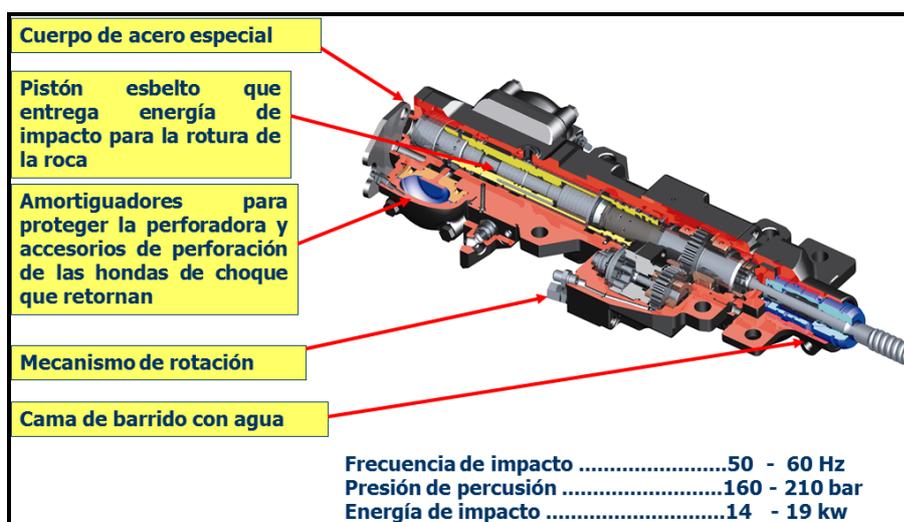


FIGURA 38: MARTILLO HIDRÁULICO SANDVIK

Fuente: Capacitación de Perforadora Hidráulica – Sandvik

B) Precisión

- En el control del brazo.
- En el ajuste de todos los parámetros.

Las diferencias entre una marca y otra es poco, porque ambos tipos de martillo tiene casi la misma potencia de impacto y golpes por segundo.

	Martillo Sandvik		Martillo Atlas Copco	
	HLX5T	HFX5T	COP 1838	COP 3038
Peso (Kg)	218	218	170	165
Largo (mm)	1020	1020	1008	990
Altura (mm)	87	87		
Potencia impacto máximo (Kw)	22	24	18	30
Golpes por segundo (Hz)	62	86	60	102
Energía de impacto (J)	340	340		
Presión hidráulica máximo (bar)	220	220		200
Velocidad de rotación máximo (rpm)		0-250		0-380
Estabilizadores	Hydraulic, 2-stage	Hydraulic, 2-stage		
Presión de agua (bar)		10-20		20-40
Aire - aceite, max				6 bar
Adaptador shank		T38		T38

FIGURA 39: DIFERENCIAS ENTRE CARACTERÍSTICAS DE MARTILLOS HIDRÁULICOS DE DIFERENTES MARCAS

Fuente: Capacitación de Perforadora Hidráulica – Sandvik

En la siguiente figura esta presentado la evolución de los martillos en el tiempo y de acuerdo a la necesidad como por diámetro de taladro, se tiene un modelo de martillo perforador en marca Sandvik.

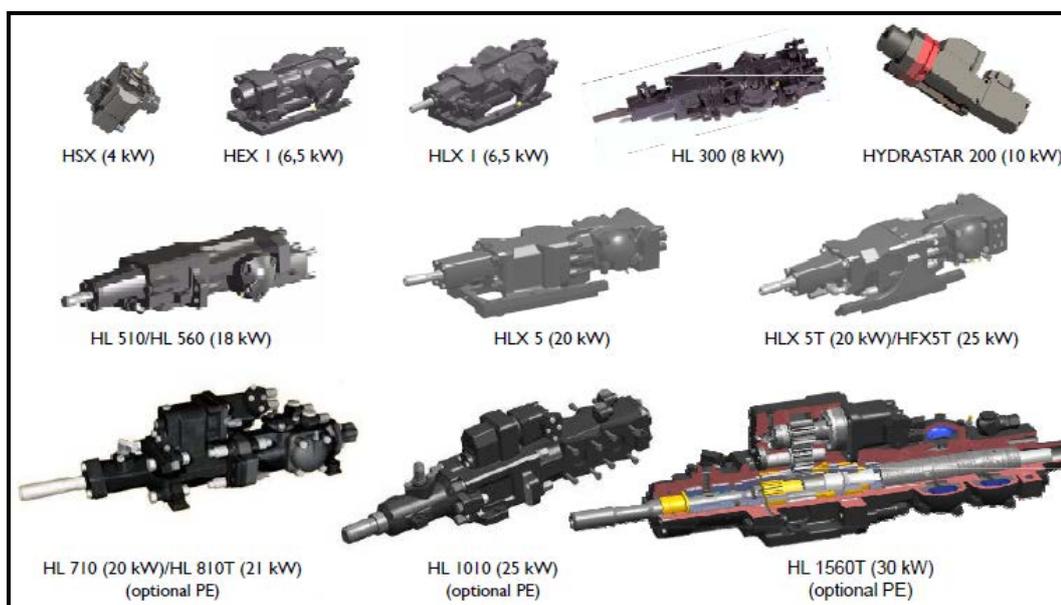


FIGURA 40: MODELOS DE MARTILLOS HIDRÁULICOS

Fuente: Capacitación de Perforadora Hidráulica – Sandvik

TABLA 06: CARACTERÍSTICAS DE LOS MARTILLOS HIDRÁULICOS SANDVIK

Rock Drill	Impact Power (kw)	Impact Rate (Hz)	Hole Diameter (mm)	Weight (kg)
HSX	4	100-200	28-38	60
HEX 1/HLX 1	6,5	70-88	22-45	48
Hydrastar 200	10	40-65	27-45	95
HL 300	10	50	32-38	92
HL 510	16	59	43-51	130
HLX5 /HLX 5T	20	67	43-64	210
HFX 5T	24,5	86	45-64	218
HL 650	17,5	44-56	64-102	245 - 300
HL 710	19,5	42-52	64-115	245
HL 810T	21	42-52	64-127	245 - 300
HL 1010	25	33-37	89-127	290 - 350
HL 1560T	33	30-40	89-127	470 - 490

Fuente: Capacitación de Perforadora Hidráulica – Sandvik

2.4.2 Instrucciones de Perforación

Aplicable a cualquier otro modelo de jumbo. Existen cuatro funciones principales en la perforación por percusión:

	Percusión: permite la penetración de la broca de perforación en la roca.
	Avance: mantiene la broca en estrecho contacto con la roca.
	Rotación: hace girar la broca a una nueva posición antes del siguiente impacto.
	Barrido, limpia el barreno de los recortes de perforación.

FIGURA 41: PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

La energía de impacto generada por el pistón del martillo perforador se transfiere a la roca a través del varillaje y de la broca de perforación.

A) Percusión

La potencia de percusión transmitida por la columna de perforación es una combinación de fuerza y de frecuencia de impacto. Esta potencia se controla directamente mediante el nivel de la presión de percusión.

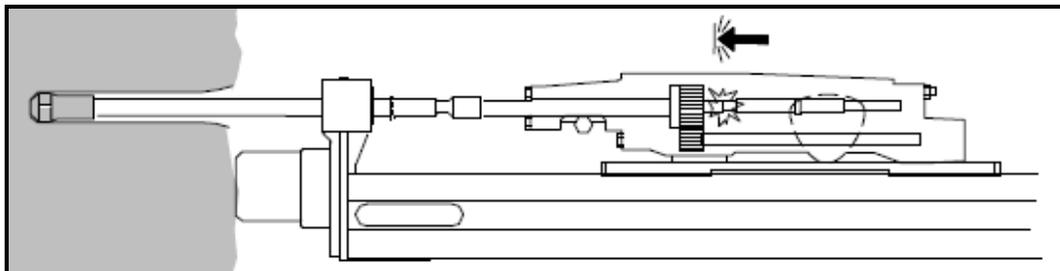


FIGURA 42: PERCUSIÓN

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

Uno de los aspectos básicos de la perforación es la capacidad de transferencia de energía del equipo de perforación. Existe un máximo de energía cinética que se puede transferir con un equipo de perforación de un cierto tamaño. Cuando se supera la capacidad de transferencia de energía del equipo, aumentarán rápidamente los daños en el mismo.

La potencia de percusión utilizada depende del terreno que se esté perforando. Si la roca es blanda, utilice la presión más baja. Si es dura, puede utilizar una presión del intervalo superior.

El valor de la presión de percusión suele ser un equilibrio de la tasa de penetración y la durabilidad del equipo.

B) Avance

El objetivo del avance es mantener la espiga en estrecho contacto con el pistón del martillo perforador y a la broca de perforación en contacto con la roca.

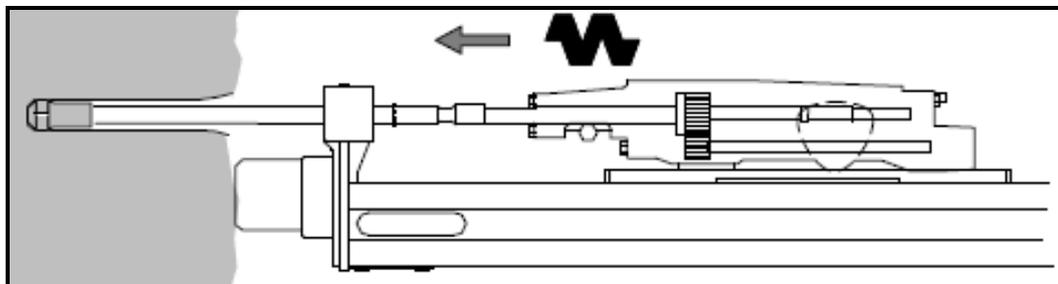


FIGURA 43: AVANCE

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

Cuando se aumenta la presión de percusión, también se debe aumentar la presión del avance. La fuerza de avance correcta depende de la presión de percusión, del tipo de roca, de la profundidad del barreno y del tamaño y tipo del equipo de perforación. La roca fracturada se debe perforar utilizando una presión de percusión y una presión de avance bajas. La presión óptima del avance se puede obtener por observación o escuchando el ruido que se emite.

OBSERVE si existe:

- Un movimiento de avance uniforme del martillo (no se producen saltos ni sacudidas en torno a la cuna de avance).
- Una rotación uniforme de la broca de perforación (RPM constantes).
- Un buen ajuste de la junta de la espiga (el acoplamiento no se está calentando, poniendo azulado, ni sale humo del mismo).
- Una penetración constante.

ESCUUCHE si se produce:

- Un sonido "sólido" de percusión (distinto a un sonido de vibración o traqueteo).

Una mayor fuerza de avance no implica un aumento de la tasa de penetración, sino que sólo aumentará el desgaste de la broca, se producirán

desviaciones del taladro, las barras se doblarán y se generarán unas presiones de rotación superiores a las normales.

Una fuerza de avance demasiado baja provoca que la broca no esté en firme contacto con la roca que se está perforando. Si se permite que esto ocurra la energía de percusión hará que rebote la barra de perforación (en lugar de que penetre en la roca), provocando daños en la sarta de perforación, en el martillo perforador y en la cuña de avance.

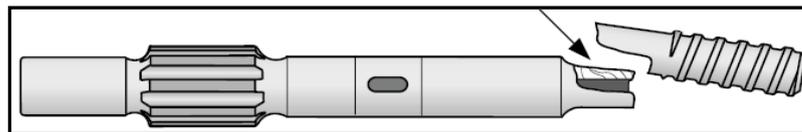


FIGURA 44: ROTURA DE SHANK POR EXCESIVA PRESIÓN DE AVANCE

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros Sandvik – Elaboración Propia

C) Rotación

La función principal de la rotación en la perforación de percusión es hacer girar la broca a una nueva posición después de cada impacto del pistón.

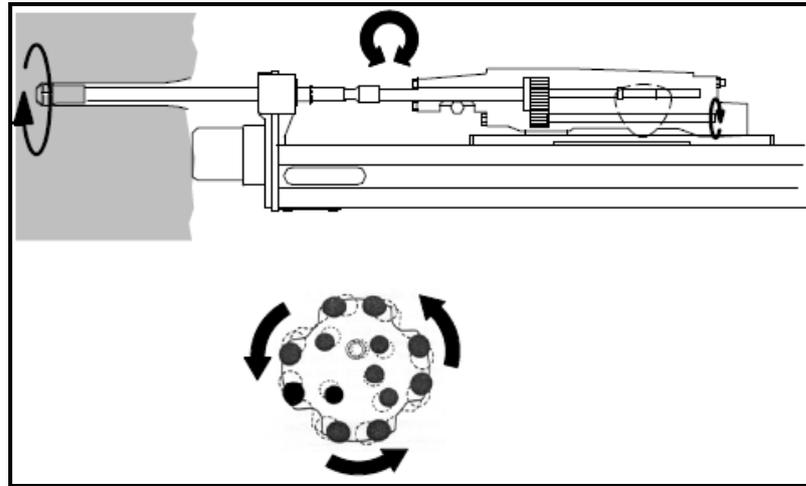


FIGURA 45: ROTACIÓN

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

La velocidad óptima de rotación depende de la geometría y el tamaño de la broca y de la perforabilidad de la roca (dureza, abrasión, etc.), así como de las restantes funciones principales de la perforación.

Una velocidad de rotación demasiado baja producirá pérdidas de energía debido a que se recortan los fragmentos de roca y a las bajas tasas de penetración. Los detritus salen del taladro como material molido y no como fragmentos.

Una velocidad de rotación demasiado alta da lugar a un excesivo desgaste de la broca debido a que la roca se rompe por rotación más que por percusión. Asimismo, una velocidad de rotación superior a la requerida produce que los manguitos de acoplamiento o Coupling queden demasiado apretados provocando, de este modo, problemas de desacoplamiento.

D) Barrido

El objeto del barrido es eliminar los detritus de roca del taladro durante la perforación.

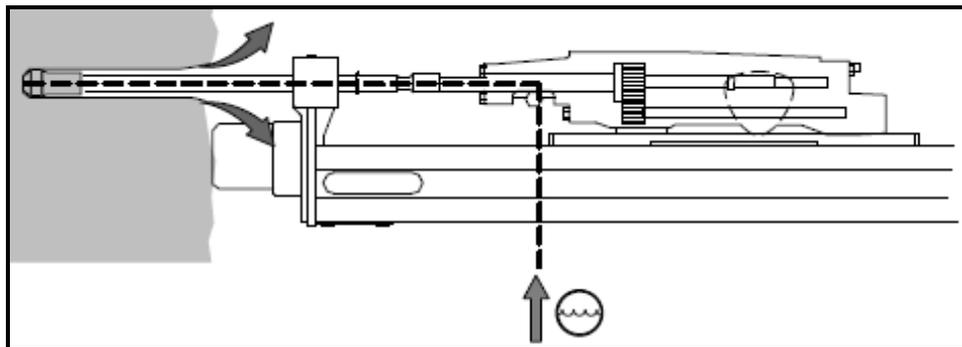


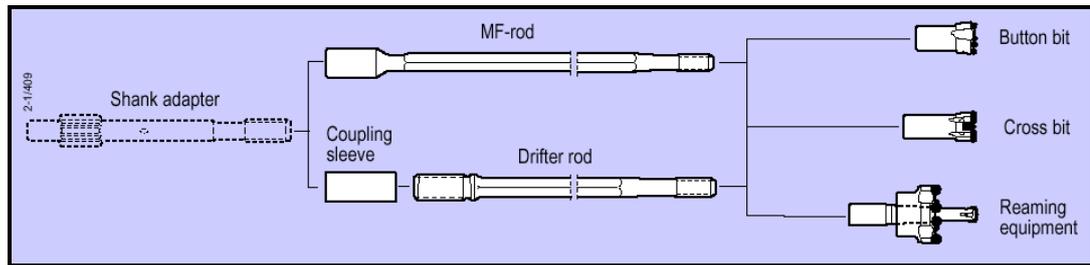
FIGURA 46: BARRIDO

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

El agua de barrido se dirige a la parte inferior del taladro a través de la columna de perforación y de los agujeros que se encuentran en la broca del martillo. Los detritus de roca se mezclan con el agua de barrido y salen por soplado a través del espacio que existe entre la columna de perforación y la pared del agujero.

Un barrido incorrecto dará lugar a una baja tasa de penetración (mayor detritus), menor duración y más desgaste de la broca y una mayor posibilidad de que se atraquen las barras.

En cuanto a la columna de perforación este equipo puede usar barras extensibles y barras MF de acuerdo al tipo de trabajo.



**FIGURA 47: COLUMNA DE PERFORACIÓN PARA JUMBOS
TUNELEROS**

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

2.4.3 Sugerencias Para la Perforación

La economía y eficiencia del jumbo dependen mucho de cómo utilice el operario el equipo durante la perforación.

- ✓ Planifique la secuencia de perforación de forma que el tiempo de perforación para cada brazo sea aproximadamente el mismo.
- ✓ Si es posible, coloque el avance de manera que el operario pueda ver la barra de perforación durante esta perforación.
- ✓ Utilice siempre el cilindro de extensión del avance para empujar la viga del avance contra la roca.

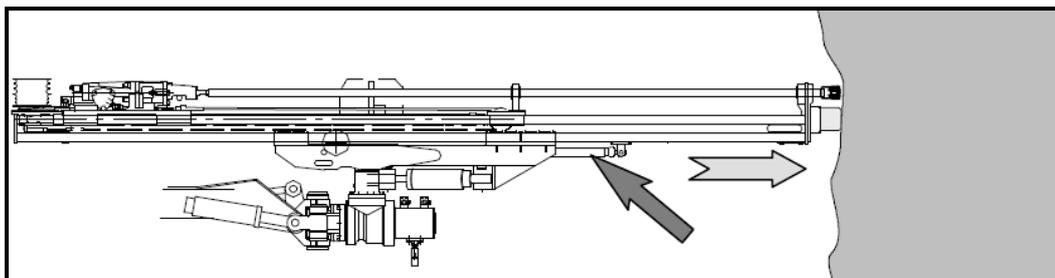


FIGURA 48: EMPUJE DEL CILINDRO DE AVANCE CONTRA LA ROCA

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

- ✓ Antes de iniciar la perforación y durante ésta, asegúrese de que el amortiguador situado en el extremo anterior de la viga del avance esté bien apretado contra la roca.
- ✓ Durante el emboquillado, la broca tiene tendencia a desviarse de la dirección dada. Para superar esta situación, se deben utilizar unos valores de perforación más largos y un tiempo de emboquillado suficientemente largo. Si el taladro se desvía en algún sentido, se debe de corregir la dirección de la viga del avance según la dirección del taladro. La mala alineación provoca esfuerzos y desgastes extras en la barra de perforación, las piezas de desgaste, el martillo, etc.

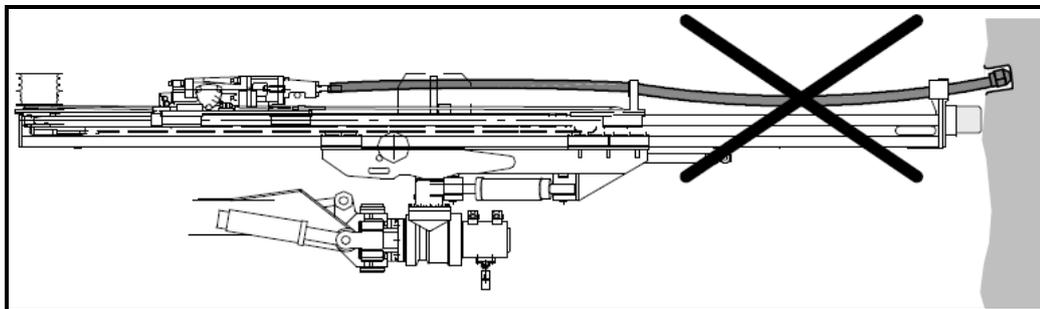


FIGURA 49: MAL EMBOQUILLADO

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

- ✓ El manómetro de rotación es una buena guía para buscar las presiones adecuadas de percusión y avance. Normalmente, la presión debería ser igual a 80 bares a 100 bares. Si es superior o si la broca se atranca de manera continua, compruebe el estado de la broca o disminuya las presiones de percusión y de avance.

- ✓ Unas presiones de avance demasiado bajas provocan una mala penetración y un rápido desgaste del martillo y de las barras de perforación. Una presión del avance demasiado alta provoca también una rápida desviación de los taladros.
- ✓ Para garantizar un correcto barrido observe que el agua sale de manera continua del taladro que se está perforando.

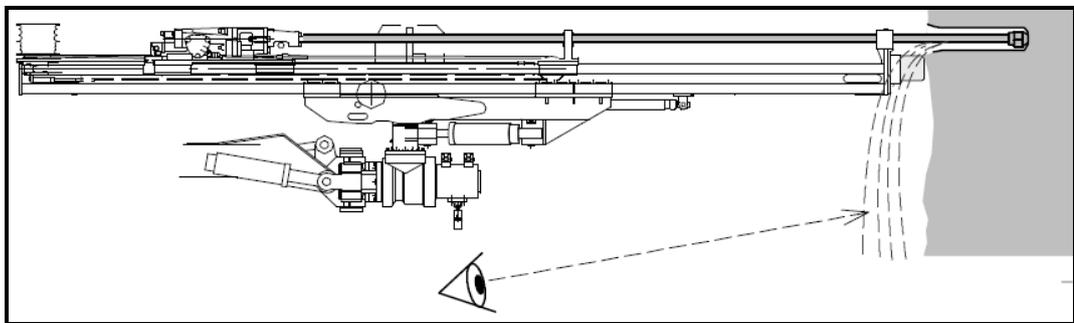


FIGURA 50: CORRECTO BARRIDO DE DETRITUS

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

- ✓ Mientras se perforan los taladros de contorno, evite que el martillo, el centralizador intermedio o el tensor de mangueras toquen la roca para evitar un avance demasiado bajo y averías mecánicas.
- ✓ Evite la perforación por encima de otro brazo debido a la posibilidad de que caigan rocas y doblen la barra.

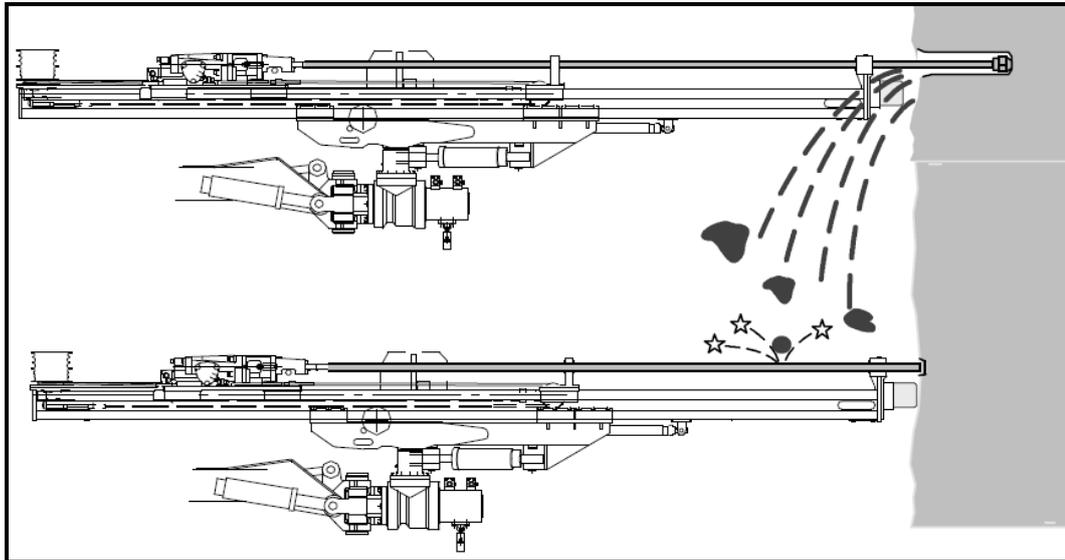


FIGURA 51: POSICIÓN INCORRECTA DE LOS BRAZOS DEL JUMBO

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

- ✓ La vibración de las mangueras del martillo significa que está averiado el diafragma del acumulador presión del martillo o que la presión de llenado no es correcta.
- ✓ Una caída permanente de la velocidad de penetración puede significar que están dañados el diafragma del acumulador de alta presión del martillo, o que la broca está desgastada o dañada.
- ✓ Cambie las brocas con bastante frecuencia para afilarlas.
- ✓ Para hacer que trabaje el sistema de paralelismo hidráulico, debe estar completamente retraído el cilindro de inclinación extra del avance (Bulonaje).

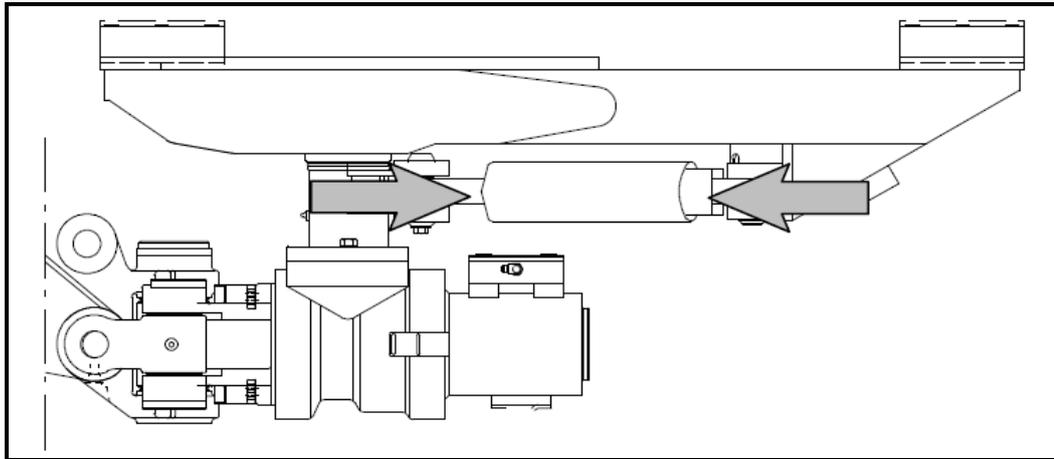


FIGURA 52: CILINDRO DE AVANCE RETRAÍDO

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

2.4.4 Parámetros de Perforación

La relación entre presión de percusión, presión del avance, velocidad de rotación y el flujo de barrido, así como el valor correcto, depende de varios factores como el estado de la roca, el tipo de broca y el diámetro del agujero.

Los parámetros de perforación se deben de ajustar siempre conforme a las condiciones actuales de la perforación. La tabla siguiente muestra los parámetros de perforación que se utilizan en la perforación de prueba en una granodiorita homogénea. Los casos de falla del capítulo: "Identificación de los parámetros de perforación incorrectos" se puede utilizar como directriz para ajustar los parámetros adecuados a las condiciones de perforación actuales.

Los parámetros de ejemplo son para perforación normal con una broca de 7 o 9 botones, diámetro 45 mm o 51 mm con avance horizontal.

TABLA 07: PRESIONES DE TRABAJO PARA EL JUMBO DT820

	PERCUSIÓN (Bares)	AVANCE (Bares)	ROTACION (Bares)	BARRIDO (Bares)	VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM)
Emboquillado	100	45	50	15	200
Perforación	230	130	80	15	200

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

La velocidad de rotación se puede medir con un tacómetro independiente.

2.4.5 Identificación de Parámetros de Perforación Incorrectos

TABLA 08: CONSECUENCIAS DEL MAL USO DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

	FALLA	SINTOMAS
PERCUSIÓN	Presión de percusión demasiado alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desgaste de la broca del martillo de perforación. ➤ Se acorta de la vida útil del martillo y de las herramientas de perforación. ➤ Mayor riesgo de que se atranque la barra de perforación.
	Presión de percusión demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducción en la tasa de penetración. (Cuando se perfora en roca blanda, se alcanza la mayor tasa de penetración y una mayor vida útil del equipo con una presión de percusión inferior a la que se obtiene cuando se perfora en roca dura)

ROTACIÓN	Velocidad de rotación alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desgaste rápido del borde exterior de la broca (riesgo de broca con contra conicidad). ➤ Detritos de perforación de grano fino. ➤ Desgaste del martillo y de los componentes del mecanismo de rotación.
	Velocidad de rotación demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rotación desigual de la varilla de perforación. ➤ Reducción en la tasa de penetración. ➤ Mayores esfuerzos sobre la barra de perforación y sobre el mecanismo de rotación.
AVANCE	Fuerza de avance demasiado alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se atranca la rotación (la presión de rotación fluctúa). ➤ Mayor par de rotación (se eleva la presión de rotación), provocando sobrecarga del equipo de perforación y del mecanismo de rotación del martillo. NOTA: El incremento en la presión de rotación también puede estar originado por desviaciones de la varilla de perforación o porque se produzca otro tipo de resistencia anormal a la rotación. ➤ Doblado de la barra de perforación, desgaste más rápido de los centralizadores y manguitos portaherramientas, mayor riesgo de que el pistón golpee la espiga en ángulo. ➤ Ha cambiado el sonido del martillo de perforación. ➤ NOTA: El incremento de la fuerza de avance por encima de cierto límite no supondrá un aumento de la tasa de penetración.

	Fuerza de avance demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El martillo salta y vibra (sonido de golpeteo metálico). ➤ Es más rápido el desgaste de la varilla de perforación y del extremo frontal del manguito portaherramientas y del manguito de acoplamiento. ➤ Las caras del cuerpo del martillo se desgastarán más rápido (los intervalos de mantenimiento son más cortos). ➤ Se reduce la tasa de penetración. La espiga no se encuentra en la posición correcta cuando golpea el pistón. Sólo se transmite a la roca una pequeña proporción de la fuerza de impacto. ➤ Se acorta la vida útil del equipo de perforación (grandes esfuerzos de resistencia a la tracción sobre el equipo de perforación).
BARRIDO	Presión de barrido demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mayor riesgo de atranque. ➤ La broca se desgasta rápido (recalentamiento). ➤ Menor tasa de penetración. ➤ Detritos de perforación de grano fino.
	Presión de barrido demasiado alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aumenta el desgaste de la broca. ➤ Escasa vida útil del retén de la caja de barrido.

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

2.4.6 Situaciones Especiales

A) Extracción de Barras Atascadas

Dependiendo de las condiciones de la roca, se puede atrancar la broca. Si la broca se atranca continuamente en condiciones normales, puede que algunos parámetros de perforación sean incorrectos o que la broca esté gastada o dañada. Para ajustar los parámetros, consulte los subcapítulos: "Sugerencias para la perforación" y "Parámetros de perforación". Si la broca no está muy atrancada, existen muchas posibilidades de sacarla. Intente ejecutar los métodos siguientes:

- a) Conecte el barrido con agua.
- b) Seleccione la percusión a plena potencia.
- c) Seleccione el retroceso.
- d) Intente la rotación en ambos sentidos.

Advertencia: No utilice movimientos del brazo o del avance para aflojar la barra de perforación. Si debe cortar la barra de perforación o soltarla del avance, asegúrese de que ni la barra de perforación ni ninguna parte del brazo está sometida a esfuerzo. Cuando se corta la barra de perforación, la herramienta o el avance pueden dar un golpe inesperado.

B) Extracción de la Broca

1. Compruebe el estado de la broca antes de comenzar a perforar un taladro.

Advertencia: Afile regularmente la broca para maximizar la productividad y minimizar los costos de perforación.

2. Reemplace la broca si están gastados los insertos (se ha gastado un tercio del inserto).

Advertencia: No desgaste por completo las brocas. Sustituya la broca al menos cuando se haya gastado $1/3$ del diámetro del botón.

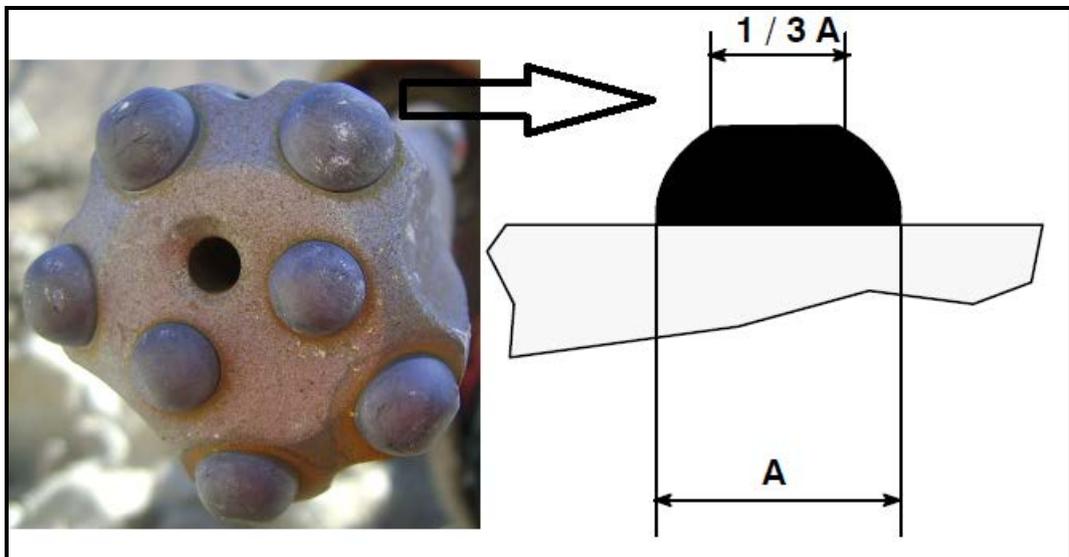


FIGURA 53: DESGASTE PERMISIBLE DEL INSERTO DE LA BROCA PARA AFILAR

Fuente: Capacitación de afilado de brocas – Sandvik

3. Apoye la broca en la parte inferior del orificio. Accione la percusión y el barrido con agua. Use la percusión y el avance para golpear la broca de perforación contra la roca hasta soltarla (el agua fluye desde el espacio entre la broca y el tubo / barra).

Advertencia: Peligro de fuga de agua a alta presión. Herramienta giratoria. No se acerque a la broca de perforación.

4. Coloque el módulo de perforación en una posición que facilite la extracción de la broca de perforación y su posterior sustitución por una broca nueva o afilada.

Advertencia: Antes de quitar la broca, desconecte las unidades de alimentación. Peligro por temperatura. El contacto con la superficie caliente de la broca puede provocar lesiones. Espere a que la superficie de la broca se enfríe antes de tocarla. Use siempre el equipo de protección personal adecuado cuando manipule las brocas.

C) Final de Turno

- ✚ Cuando detenga la perforación al final de su relevo, para comer, para desplazar el equipo de perforación o por cualquier otra razón, nunca olvide eliminar el agua de la broca y la barra de perforación utilizando el barrido con aire
- ✚ Incline hacia abajo el extremo frontal del avance, de manera que el agua salga del interior del avance.

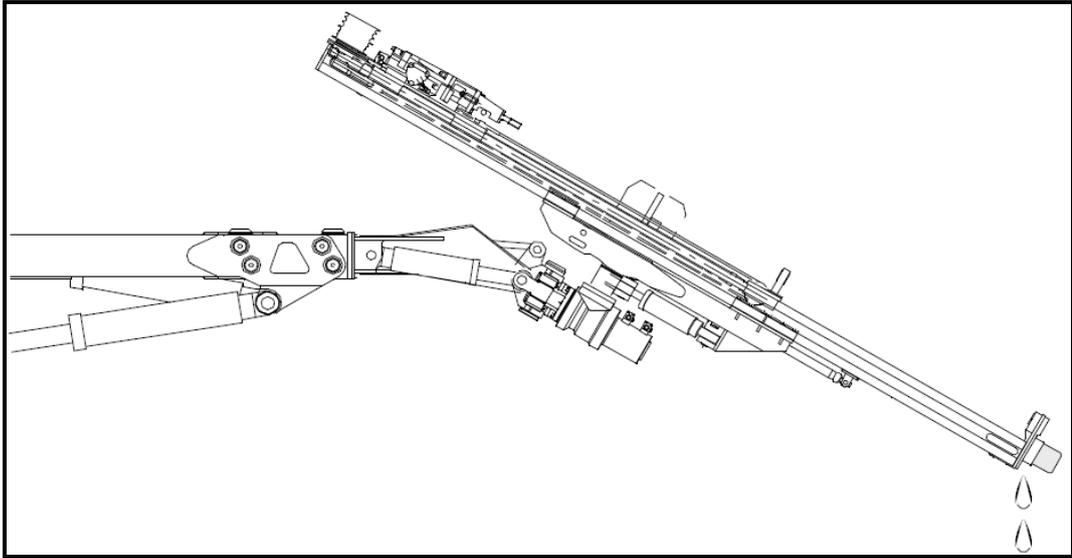


FIGURA 54: POSICIÓN FINAL DEL BRAZO DEL JUMBO AL FINALIZAR LA OPERACIÓN

Fuente: Catalogo de Jumbo DT 820 – Sandvik

- ✚ Lave el equipo de perforación antes del final de su relevo (Brazo, Avance).
- ✚ Comunique cualquier avería o defecto que haya observado al personal del siguiente relevo.
- ✚ Detenga la unidad de alimentación.
- ✚ Coloque el interruptor principal a la posición 0.
- ✚ Coloque el conmutador principal del equipo de perforación a la posición OFF (Desconectado).

Advertencia: En tiempo frío acuérdesese de drenar por completo el circuito de agua siempre que se detenga la perforación durante un período más largo y añada anticongelante en el circuito.

Si la parada es más larga que el simple cambio de relevo, lleve el equipo de perforación hasta un lugar seco. Levante el equipo de perforación sobre los gatos.

CAPITULO III: PERFORACION MECANIZADA PARA OBRAS SUPERFICIALES

Una mina, cantera, plataforma a tajo abierto es una excavación superficial, cuyo objetivo es la extracción de mineral, agregados calcáreos, desmonte, etc. Para lograr este propósito, usualmente es necesario excavar grandes cantidades de roca estéril. Como la perforación superficial cubre un amplio rango de diámetros y longitudes de taladro, la gama de equipos de perforación para esta aplicación es grande.

La perforación con martillo en cabeza es el método más comúnmente usado para diámetros de taladro de hasta 152 mm (6 pulgadas) y longitudes de taladro de hasta 20 metros (60 pies) y si se requiere perforar taladros de 152 mm a 381 mm de diámetro (15 pulgadas) se tendrá que aplicar perforación con martillo en fondo o perforación rotatoria.

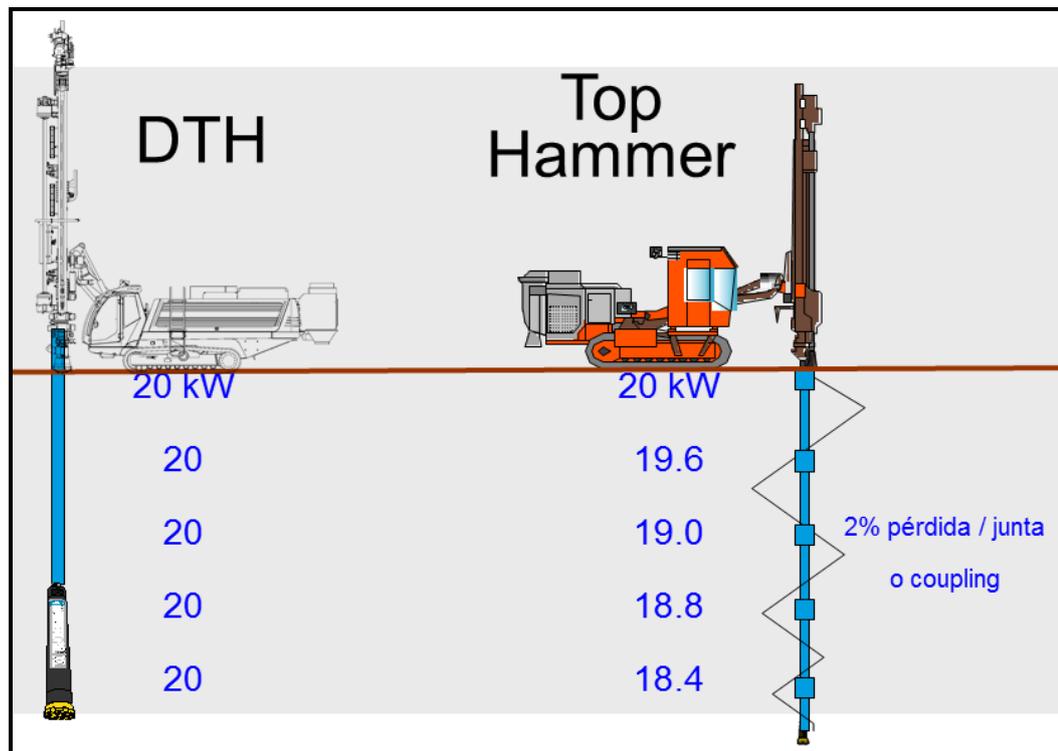


FIGURA 55: PERFORACIÓN SUPERFICIAL: DTH VS. TH

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

En esta figura se puede ver que tenemos por ejemplo un martillo de 20 kw de potencia en ambos equipos con diferentes sistemas de perforación, resaltando algunas diferencias como que en el sistema TH se pierde la potencia del martillo a medida que se profundiza el taladro debido a las uniones de las barras; así como produce mucho mayor ruido debido a que el martillo está en la parte más alta de la viga, algo que no ocurre con el sistema de perforación DTH que conserva la potencia generada debido a que el martillo se encuentra en casi contacto directo con la broca.

3.1 GENERALIDADES

En aplicaciones de perforación en superficie es posible elegir entre dos métodos principales: perforación de roto-percusión y rotativa.

Las perforadoras de rotación mantienen una presión sobre la broca, obligándola a llegar hasta el fondo del pozo, mientras rota la perforadora. Esto resulta en una especie de "astillas" de roca en proceso de ejecución. El material no es simplemente chancado. La broca rotatoria de tres conos, utilizada para formaciones en roca sólida, contiene insertos de acero al carburo tungsteno. Para formaciones más débiles, se utilizan brocas con dientes de acero.

Las perforadoras a percusión utilizan un martillo como herramienta para impactar de manera repetitiva la broca mientras rota la perforadora. En unidades más grandes, el martillo se coloca generalmente dentro de la perforadora rotatoria por debajo del pozo, justamente arriba de la broca.

Normalmente, las aplicaciones de diámetros más grandes de pozos (+ 25 cm.) y las formaciones de roca más sólida, favorecen la perforación rotatoria mientras que aquella a percusión se torna competitiva para tamaños de taladros más pequeños.

En resumen existen dos técnicas de perforación en la industria minera:

- ✓ Rotatoria

- ✓ Rotopercutiva

El resultado de una operación extractiva dependerá fundamentalmente de sus costos, razón por la cual el costo de perforación es de la mayor importancia en el costo de la remoción de minerales o roca, por lo tanto tratar de rebajar su incidencia en el costo de producción será la principal preocupación del personal a cargo del área de perforación y voladura. Los factores que influyen en la rebaja de costos de la perforación son variados, aquí presentamos los más comúnmente considerados:

- ❖ Tipo de explosivo a usar.
- ❖ Altura de los bancos y diámetro del taladro.
- ❖ Tonelaje que el explosivo puede remover.
- ❖ Tamaño de la perforación, profundidad de los tiros y espaciamiento.
- ❖ Angulo de la perforación.
- ❖ Tonelaje promedio a obtener diariamente.
- ❖ Capacidad de la chancadora primaria.
- ❖ Capacidad de los equipos de carguío y transporte
- ❖ Aptitud y actitud del personal de perforación y voladura.
- ❖ Experiencias anteriores en voladura.
- ❖ Características de perforabilidad de la roca.
- ❖ Disponibilidad de los equipos de perforación.

3.2 SELECCIÓN DE EQUIPO

En este estudio se dará los alcances para la selección de equipo Top Hammer o martillo en cabeza marca Sandvik para perforación superficial. La dimensión del equipo así como sus características, lo define la aplicación para lo cual se va a emplear como perforación de producción, sobre perforación o precorte; y el diámetro de taladro será de acuerdo al tipo de explosivo a usarse, propiedad de la roca, capacidad de requerimiento, etc.

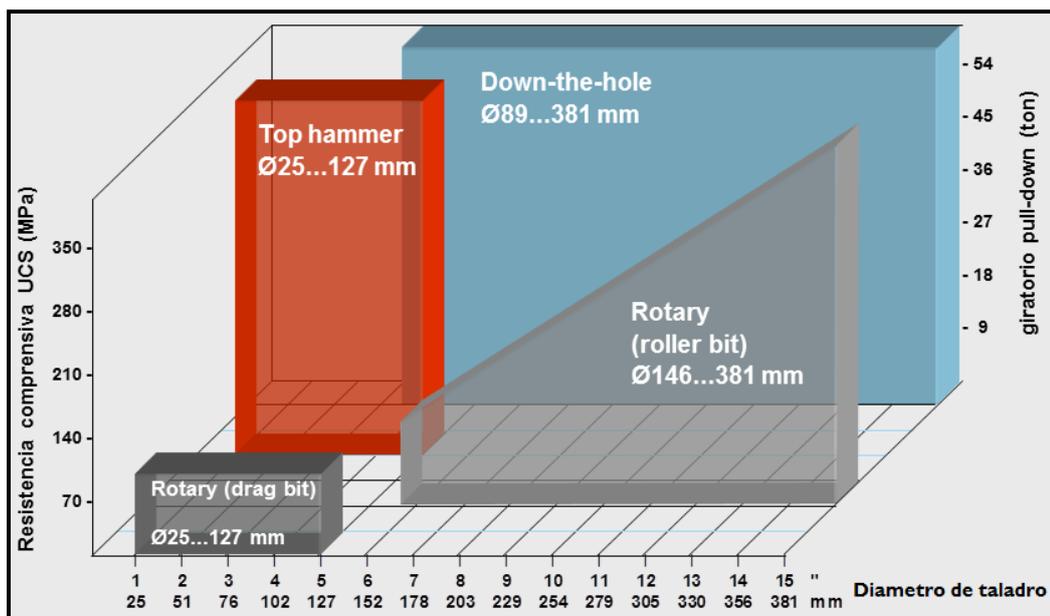


FIGURA 56: SELECCIÓN DE EQUIPO DE ACUERDO A DIÁMETRO REQUERIDO

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Dentro de los equipos Top Hammer se tiene la serie de los equipos DXs (Rangers), DPs (Panteras) y DCs (Comandos) y en los equipos Down The Hole se tiene la serie de los equipos DQs, DIs y DHs; estos últimos equipos aun no operan en el Perú.



FIGURA 57: SERIE DE PERFORADORAS TH DE SUPERFICIE

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

A continuación se presentara una manera práctica de seleccionar un equipo de superficie Sandvik Top Hammer o martillo en cabeza según diámetro de taladro y producción requerida:

Modelo de Equipo	Diámetro de Taladro	Producción
DX800P	76-127 mm	1400-2700m ³ /8h
DX700 DX780 DX700R	76-115 mm	1200-2500 m ³ /8h
DX680 DX680R DC700	64-102 mm	1000-2200 m ³ /8h
DX500 DX500R	51-89 mm	900-2000 m ³ /8h
DX560	51-89 mm	800-1850 m ³ /8h
DX560	41-89 mm	600-1600 m ³ /8h
DC300	38-64 mm	500-950 m ³ /8h
DC120	22-45 mm	300-540 m ³ /8h

FIGURA 58: MODELO DE EQUIPO SEGÚN DIÁMETRO Y PRODUCCIÓN REQUERIDA POR GUARDIA DE 8 HORAS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Modelo de Equipo	Diámetro de Taladro	Producción
DP1500	102-152 mm	2 Mt/year
DP1100	89-140 mm	> 1,5 Mt/year
DP900	89-127 mm	1,5 Mt/year
DP800	76-127 m	1,4 Mt/year
DX800R	76-127 mm	1,3 Mt/year
DX 780R	76-115 mm	1,2 Mt/year
DX 700R	76-115 mm	1,2 Mt/year
DX 680R	64-102 mm	0,8 Mt/year

FIGURA 59: MODELO DE EQUIPO SEGÚN DIÁMETRO Y PRODUCCIÓN EN MILLONES DE TONELADA AL AÑO

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

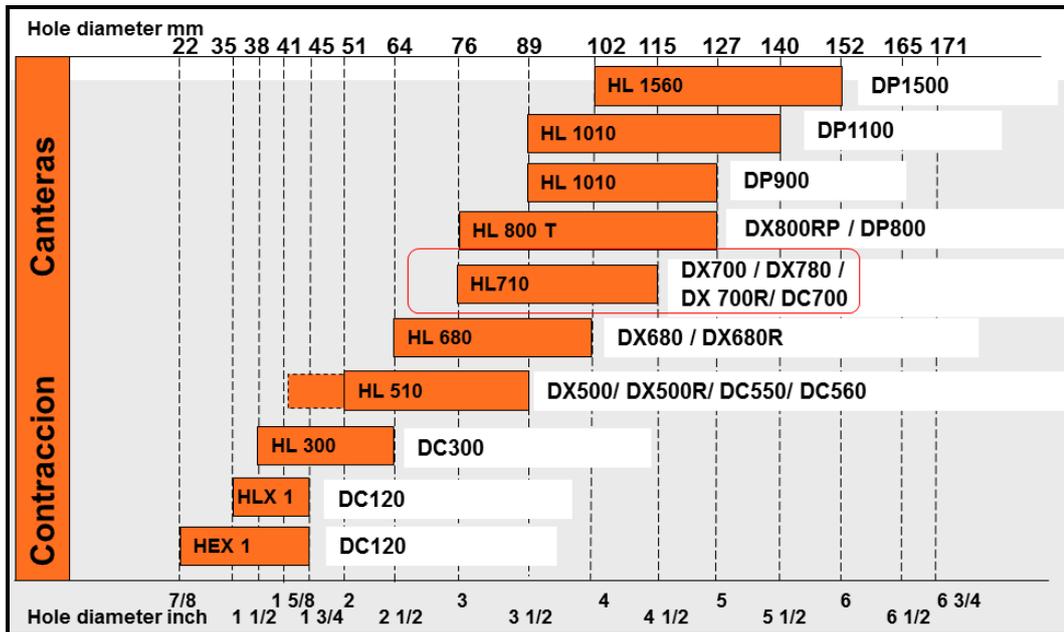


FIGURA 60: MODELO DE EQUIPO SEGÚN TIPO DE OBRA Y DIÁMETRO

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

3.2.1 DXs Series

Los Rangers o DXs están diseñados para perforar en obras civiles y en canteras. Es un equipo hidráulico que perfora taladros verticales, inclinados y horizontales de 51 mm a 127 mm (2" a 5") de diámetro utilizando varillaje extensible de diámetro de rosca de 38 mm, 45 mm o 51 mm (1 1/2", 1 3/4" ó 2"), se verá posteriormente en el tópico de selección de aceros de perforación para estas máquinas.

La profundidad máxima de un taladro es de 29 metros cuando se utilizan varillas MF (Macho/Hembra con manguito incorporado) de 14 pies (Diámetro de 45 mm) de longitud.

Aquí se tiene toda la serie de los equipos DXs desde el de menor potencia hasta el de mayor potencia, todos los equipos mostrados en el cuadro operan en varias obras dentro del Perú.

	DX500	DX680	DX700	DX780	DX800
Diametro de taladro recomendado	51–89 mm, 2" – 3½"	64–102 mm, 2½"–4"	64–115 mm, 2½"–4½"	64–115 mm, 2½"–4½"	64–127 mm, 2½"–5"
Barra de perforación / diametro de tubo	32, 38, 45 mm	38, 45, 51 mm			
	1¼", 1½", 1¾"	1½", 1¾", 2"	1½", 1¾", 2"	1½", 1¾", 2"	1½", 1¾", 2"
Martillo hidráulico	HL 510	HL 650	HL 710	HL 810T	HL810T
Emision de energia de percusión	15,5 kW, 21 hp	17,5 kW, 23,5 hp	19,5 kW, 26,5 hp	19,5 kW, 26,5 hp	21 kW, 28 hp
Tipo de motor	Caterpillar C7.1				
Emision de poder de motor	168 kW / 1800 rpm	186 kW / 1800 rpm			
	228 hp / 1800 rpm	252 hp / 1800 rpm			
Capacidad de barrido	6,2 m³ / min, 219 cfm	6,2 m³ / min, 219 cfm	8,1 m³ / min, 286 cfm	8,1 m³ / min, 286 cfm	9,6 m³ / min, 339 cfm
Cabina operadora	Ergo	Ergo	Ergo	Ergo	Ergo
Certificado	ROPS y FOPS				

FIGURA 61: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DXS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

PRESIÓN	DX 500		DX 680		DX 700		DX 800	
	Emboquillado	Perforación	Emboquillado	Perforación	Emboquillado	Perforación	Emboquillado	Perforación
PERCUSION	80bar	130 - 150 bar	80bar	130 - 150 bar	80bar	130 - 150 bar	80bar	130 - 190 bar
AVANCE	30 - 50 bar	80 - 100 bar	30 - 50 bar	80 - 100 bar	30 - 50 bar	80 - 100 bar	30 - 50 bar	80 - 120 bar
ROTACION	40 bar	40 - 60 bar						
AIRE	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar	4 - 9 bar

FIGURA 62: PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DXS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

A) Aplicaciones

a) Construcción civil

- ✓ Vía.
- ✓ Vía de riel.

✓ Túneles.

✓ Canales.

b) Perforación de producción

c) Preparación de sitios

✓ Edificios.

✓ Canteras.

✓ Mina de cielo abierto.

d) Control de taludes

e) Trabajo de tubería

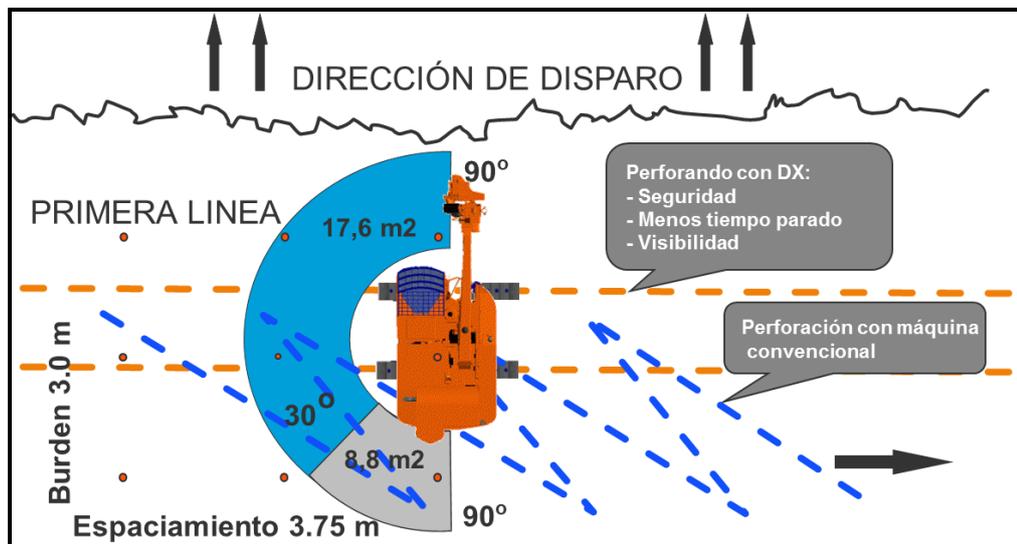


FIGURA 63: ÁREA DE COBERTURA DE LOS EQUIPOS DXS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Los equipos DXs son equipos versátiles que tienen cobertura de perforación (perfora más taladros en una sola posición) mayor que otros equipos; demora menos tiempo de traslado hacia el siguiente taladro debido al giro a través de su tornamesa que llega hasta 120° y si se le adiciona un kit adicional puede abarcar 30° más de giro, y trabaja en lugares de pendiente de 20° de frente y perfil también tienen estabilidad en terrenos de pendiente de hasta 40° como se ve en la figura.

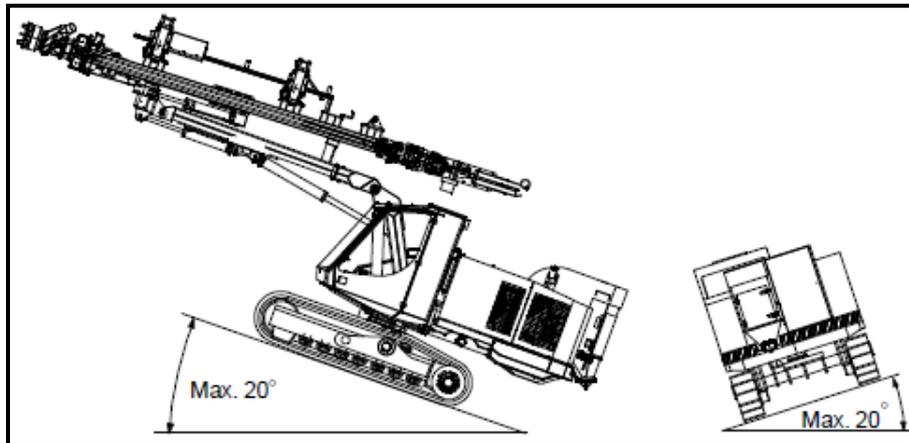


FIGURA 64: PENDIENTE DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DXS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik



FIGURA 65: PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LOS EQUIPOS DXS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

3.2.2 DPs Series

Los equipos DPs (Panteras) están diseñados para su uso en minas y canteras. Se trata de un equipo hidráulico de funcionamiento independiente que perfora taladros verticales, inclinados y horizontales. La profundidad máxima de taladro es de 33 m cuando se utilizan barras MF (Macho /Hembra con manguito incorporado) de 14' (4.270 m) de longitud. Los equipos DXs tienen una cabina ergonómica para que el operador tenga la seguridad y visibilidad y está certificado para R.O.P.S. (ISO-3471 con antivuelco de Protección) y F.O.P.S. (ISO-3449 protección estructura contra caídas de objetos y ventanas son laminados para mayor seguridad).

TABLA 09: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPO DPS

DP Series Datos Técnicos	DP900	DP1100	DP1500
Diámetro de taladro recomendado	89 mm – 127 mm	89 mm – 140 mm	102 mm – 152 mm
	3½” – 5”	3½” – 5½”	4” – 6”
Barra perf. / Diámetro de barra	51, 60 mm	51, 60, 87 mm	51, 60, 87, 96 mm
	2”, 2 3/8”	2”, 2 3/8”, 3½”	2”, 2 3/8”, 3½”, 3¾”
Martillo hidráulico	HL 1060T	HL 1060T	HL 1560T
Emisión de energía de percusión	21 kW	25 kW	33 kW
	28 hp	34 hp	44 hp
Tipo de motor	Caterpillar C9	Caterpillar C9	Caterpillar C11
Energía de salida de motor	205 kW / 1800 rpm	225 kW / 1800 rpm	261 kW / 1800 rpm
	275 hp / 1800 rpm	302 hp / 1800 rpm	350 hp / 1800 rpm
Capacidad de barrido	9,6 m³ / min	14 m³ / min	14 m³ / min
	335 cfm	490 cfm	490 cfm
Cabina operadora	Ergo Cool	Ergo Cool	Ergo Cool
Certificado	ROPS y FOPS	ROPS y FOPS	ROPS y FOPS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

TABLA 10: PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DPS

PRESIÓN	DP 1100		DP 1500	
	Emboquillado	Perforación	Emboquillado	Perforación
PERCUSION	80 - 100 bar	110 – 140 bar	100 bar	140 – 170 bar
AVANCE	30 - 40 bar	50 - 80 bar	30 - 40 bar	50 - 80 bar
ROTACION	40 bar	50 - 70 bar	40 bar	50 - 80 bar
AIRE	4-9 bar	5 bar	4-9 bar	5 bar

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

A) Aplicaciones

-  Perforación de producción.
-  Cantera /desarrollo mina.
-  Precorte.

✚ Drenaje.

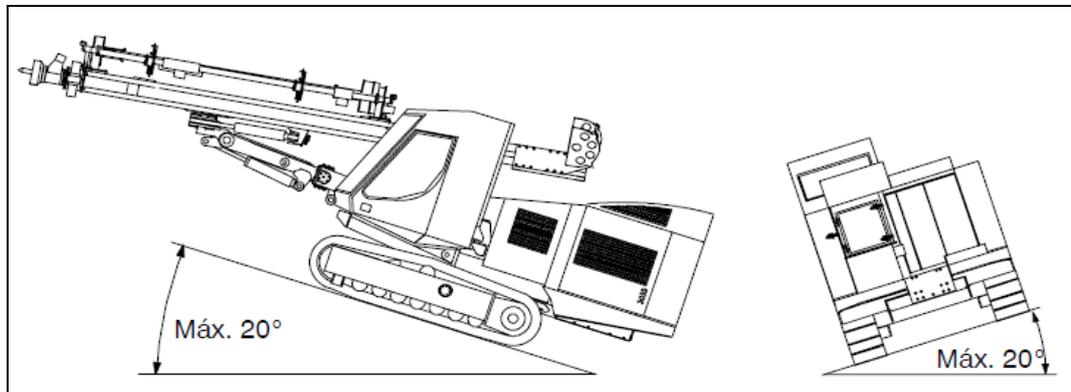


FIGURA 66: PENDIENTE DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS DPS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Los equipos DP pueden trabajar en frentes de 20° de pendiente tanto de subida como de perfil y tienen estabilidad de hasta 42°. Según se observa en la figura.



FIGURA 67: PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LOS EQUIPOS DPS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

3.3 SELECCIÓN DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN

En los equipos DXs se usa el shank de acuerdo al modelo de martillo hidráulico que tiene el equipo, que se describió previamente en el subcapítulo “Selección de equipo” y mayormente las barras son del tipo MF (rosca macho y rosca hembra) de rosca “T” pudiendo ser: T38, T45 y T51 dependiendo del equipo y diámetro que se requiera perforar. En cuanto a las brocas esta puede ser: broca normal o broca retráctil de acuerdo al tipo de terreno.

Tipo de Barra de Perforación	Diametro de Barra o Tipo de Rosca	Diametro de Taladro recomendado
Extension rods	38 mm 1 ½"	64 - 70 mm 2 ½" - 2 ¾"
MF-rod	38 mm 1 ½"	64 - 70 mm 2 ½" - 2 ¾"
Extension rods	45 mm 1 ¾"	76 - 89 mm 3" - 3 ½"
MF-rod	45 mm 1 ¾"	76 - 89 mm 3" - 3 ½"
MF-rod	51 mm 2"	89 - 115 mm 3 ½" - 4 ½"
Extension rods	51 mm 2"	89 - 115 mm 3" - 4 ½"

FIGURA 68: CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRAS DE PERFORACIÓN PARA CADA TIPO DE ROSCA

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik



FIGURA 69: COLUMNA DE PERFORACIÓN TÍPICA PARA EQUIPOS DE SUPERFICIE

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

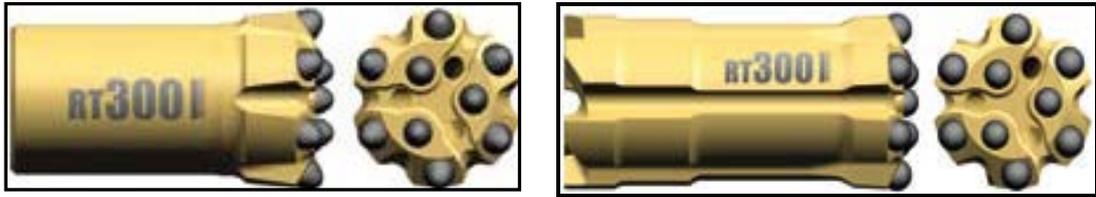


FIGURA 70: TIPO DE BROCAS USADAS PARA EQUIPOS DE SUPERFICIE

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

En los equipos DP se sigue la misma metodología de selección de aceros; pero debido a que los equipos DP tienen el martillo hidráulico de 25 kw a 28 kw (más potencia que en los equipos DXs), puede usar también la columna especial de perforación GT60, que es una columna más robusta o de mejor aleación desde el shank hasta la broca.

Equipo	Perforadora de roca	Potencia	Diámetro del taladro	Roscas
DP1100	HL 1010	25 kW	76 – 152 mm 3" – 6"	T45, T51, GT60
DP1500	HL 1560	30 kW	89 – 152 mm 3½" – 6"	T51, GT60

FIGURA 71: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DPS

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

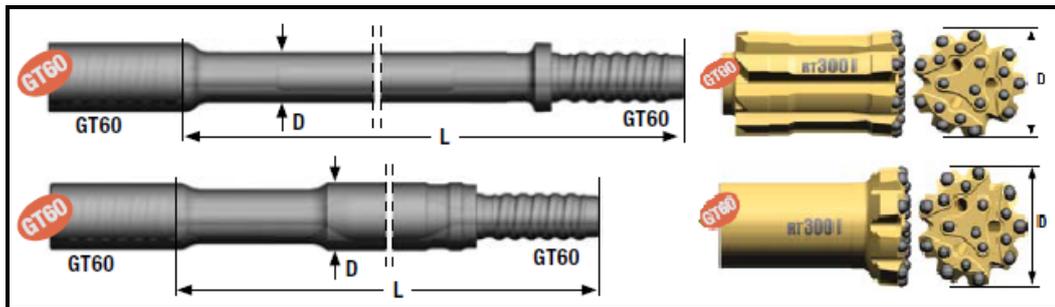


FIGURA 72: COLUMNA ESPECIAL DE PERFORACIÓN GT60

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

A continuación se describirá los diferentes tipos de columna de perforación para los equipos de superficie.

3.3.1 Columna de Perforación - T38

Puede ser empleado por toda la serie de equipos DXs siendo lo más recomendable emplearlo en los equipos: DX500, DX680 y DX700. Se puede usar en la DX680 y DX800 pero si empleamos esta columna, no se aprovechara al máximo la potencia del martillo del equipo.

TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T38

Barra MF	Diámetro Coupling	Diámetro Barra	Diámetro Broca
T38	55 mm	39 mm	2 ½" a 3"

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Características:

- ❖ Longitud de Barra (comercial): 12 pies.
- ❖ Longitud Máxima de Taladro (recomendable): 15 m.

- ❖ Diámetro de broca: 2 ½” a 3 ½”.
- ❖ Tipos de brocas:
 - ✓ Broca Normal: Roca homogénea.
 - ✓ Broca Retráctil: Roca fracturada (conserva mejor el alineamiento, menor desviación).
- ❖ Características de la Columna: Flexible, longitud de taladro mayores a 15 m produce mayor desviación.
- ❖ Aplicaciones: Desbroce de bancos de menores a 15 m

3.3.2 Columna de Perforación – T45

Puede ser empleado por toda la serie de equipos DXs siendo lo más recomendable emplearlo en los equipos: DX680, DX700 y DX800; también se puede usar en el equipo DP1100. Es la columna más usada en las diversas obras civiles en el Perú.

TABLA 12: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T45

Barra MF	Diámetro Coupling	Diámetro barra	Diámetro Broca
T45	63 mm	46 mm	3” a 4”

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Características:

- ❖ Longitud de Barra (Comercial): 12 pies.

- ❖ Longitud Máxima de Taladro (recomendable): 25 m.
- ❖ Diámetro de broca: 3" a 4".
- ❖ Tipos de brocas:
 - ✓ Broca Normal: Roca homogénea.
 - ✓ Broca Retráctil: Roca fracturada (conserva mejor el alineamiento, menor desviación).
- ❖ Características de la Columna: Rígida, longitudes mayores a 25 m produce desviación moderada.
- ❖ Aplicaciones: Desbroce de bancos de mayores a 25 m.

3.3.3 Columna de Perforación – T51

Es empleado en los equipos: DX680, DX700, DX800, DP1100 y DP1500. Usando esta columna de perforación se puede aprovechar al máximo la potencia del martillo hidráulico del equipo. Pocas veces esta columna es usada por el equipo DP1500.

TABLA 13: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA T51

Barra MF	Diámetro Coupling	Diámetro Barra	Diámetro Broca
T51	71 mm	52 mm	3 ½" a 5"

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Características:

- ❖ Longitud de Barra (Comercial): 12 pies.
- ❖ Longitud Máxima de Taladro (recomendable): 30 m.
- ❖ Diámetro de broca: 3 ½" a 5 ".
- ❖ Tipos de brocas:
 - ✓ Broca Normal: Roca homogénea.
 - ✓ Broca Retráctil: Roca fracturada (conserva mejor el alineamiento, menor desviación).
- ❖ Características de la Columna: Robusta: pasado los 8 m. debemos usar tubo guía con la finalidad de minimizar la desviación.
- ❖ Aplicaciones: Perforación de bancos de mayores a 30 m

3.3.4 Columna de Perforación - GT60

Esta columna es usada mayormente por los equipos DPs para aprovechar al máximo la potencia de sus martillos en la perforación.

TABLA 14: CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA GT60

Barra MF	Diámetro Coupling	Diámetro Barra	Diámetro Broca
GT60	85 mm	64 mm	4" a 5 ½"

Fuente: Presentación de Equipos de Superficie – Sandvik

Características:

- ❖ Longitud de Barra (Comercial): 12 pies.
- ❖ Diámetro de broca recomendado: 4" a 5 ½ ".
- ❖ Tipos de brocas:
 - ✓ Broca Normal: Roca homogénea.
 - ✓ Broca Retráctil: Roca fracturada (conserva mejor el alineamiento, menor desviación).
- ❖ Características de la Columna: Robusta: pasado los 25 m debemos usar barra piloto con la finalidad de minimizar la desviación.
- ❖ Aplicaciones: Perforación de bancos de mayores a 30 m. Mayor a esta longitud usar tubo guía.

3.4 INSTRUCCIONES DE PERFORACIÓN

Estos equipos son versátiles en su forma de uso, pero a diferencia de los equipos DTH producen más ruido debido a que el martillo hidráulico está en la parte superior de la viga; es fácil de ajustar los parámetros desde la cabina y son configurados de acuerdo al tipo de roca y permite al operador ajustar y almacenar los parámetros óptimos para cada perforación. A continuación se va a describir las diversas consideraciones para darles un buen uso a estos equipos.

3.4.1 Principio de la Perforación por Percusión

Al igual que se describió para los jumbos, el principio de la perforación por percusión es lo mismo tanto para equipos de perforación para obras subterráneas que superficiales, siendo la diferencia en el barrido que mayormente es con aire y la posición de los taladros que puede ser vertical o inclinados.

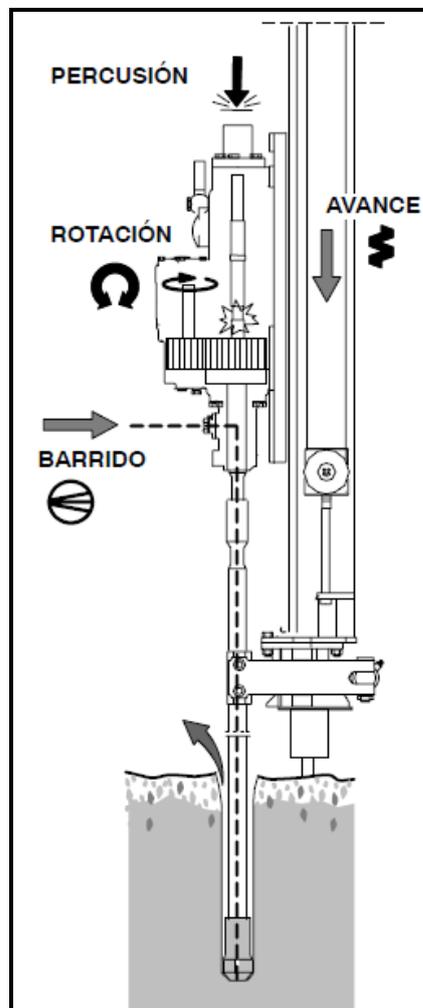


FIGURA 73: PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN EQUIPOS DE SUPERFICIE

Fuente: Catalogo del Equipo DX800 – Sandvik

3.4.2 Sugerencias Para la Perforación

Al igual que con los equipos de perforación subterránea, en equipos de perforación superficial se suele tener las mismas fallas, las sugerencias que se presentaran en esta parte serán sugerencias adicionales a las ya presentadas en el capítulo anterior:

- A)** Cuando se requiera la realización de taladros en línea recta y las condiciones de perforación sean difíciles (3 a más barras), se utilizará un tubo guía y una broca retráctil para mantener el paralelismo del taladro.
- B)** Reducir la fuerza de impacto cuando se perfora en roca suelta, evitar la percusión en vacío porque genera calor y picaduras en los hilos de la rosca y reducir la fuerza de rotación si se está perforando con brocas sobre perforadas.
- C)** No mezclar aceros usados con nuevos – Cambio oportuno de barra y Shank. No mezclar aceros de diferentes marcas en la columna de perforación porque no todos los aceros tienen las mismas características para soportar la potencia de los equipos DXs y DPs; excepto los aceros de SANDVIK que fueron diseñados para este tipo de equipos.
- D)** Intercalar las barras que va en el carrusel para mantener el desgaste uniforme entre las barras y conservar la rosca del shank.

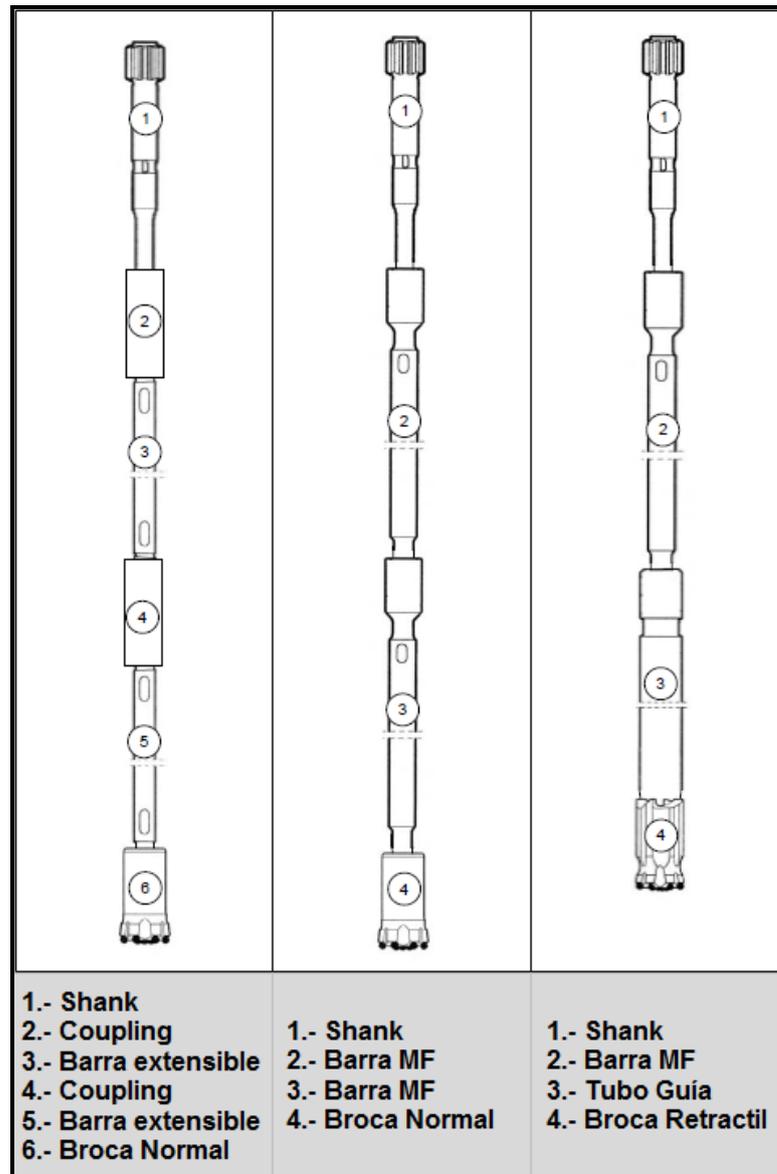


FIGURA 74: COMBINACIÓN DE BARRAS EN LA COLUMNA DE PERFORACIÓN PARA EL DESGASTE UNIFORME

Fuente: Catalogo del Equipo DX800 – Sandvik

E) Engrasar las roscas de los aceros de la columna con grasa grafitada de aluminio para evitar picaduras y desgaste por temperatura así como facilitar el desacoplamiento al momento del cambio o extracción.

- F)** Revisar los acumuladores de energía cada semana o quincena para ver si necesita recargar los acumuladores de alta y baja y no perjudicar al martillo de perforación que puede ocasionar rompimiento en los hilos de rosca del Shank y la barra.
- G)** No realizar percusiones si la broca no está pegada a la roca, uso reducido de la percusión cuando se tiene superficies desiguales. Tampoco cuando se está extrayendo una de las barras (percusión en vacío).
- H)** Nivelar la superficie de contacto de perforación entre broca y suelo para evitar percusiones en vacío que es causante de desprendimiento de insertos en las brocas de perforación.
- I)** Se demostró que los aceros de perforación SANDVIK, tiene buen rendimiento en cualquier tipo de terreno, pudiéndose incrementar con el afilado de los botones en un 30% de vida útil; también es importante seleccionar los aceros adecuados para la maquina adecuada para obtener su máxima eficiencia.

3.4.3 Situaciones Especiales

A) Sustitución de la Broca de Perforación

- ❖ Conecte el barrido.
- ❖ Use la percusión para martillar la broca contra la roca hasta que se desaflojen las roscas.

- ❖ Desplace el avance hacia delante hasta la posición indicada.
- ❖ Desplace el avance ligeramente hacia delante para que la broca de perforación salga de la campana de aspiración.
- ❖ Apague el motor.
- ❖ Desatornille la broca de perforación. Para las tareas de extracción de la broca de perforación, recuerde que pesa mucho.
- ❖ Atornille la broca de perforación nueva en su posición correcta. Use grasa para roscas.

Observación: Nunca se coloque delante de la barra de perforación cuando esté sustituyendo la broca de perforación.

B) Emboquillado: Comience el emboquillado siguiendo la siguiente secuencia:

- ❖ **Rotación.** La rotación se inicia al desplazar la palanca multifunción hacia la izquierda; la velocidad de rotación se incrementa a medida que la palanca se mueve más a la izquierda.
- ❖ **Percusión.** La percusión a media potencia comienza simultáneamente con la rotación, cuando la palanca multifunción se desplaza hacia la izquierda. El barrido también comenzará si el interruptor S18 no se encuentra en la posición intermedia. El barrido se inicia con el conmutador de presión de percusión.

❖ **Avance.** El avance comienza cuando la palanca multifunción se empuja hacia adelante; la velocidad de avance se incrementa a medida que se empuja más la palanca. Cuando se empuja la palanca multifunción suficientemente, se produce un bloqueo en la posición de perforación y comienza la función de seguimiento percusión - avance. El bloqueo se libera al apretar el botón S20 (4).

NOTA: Si la broca se desplaza del punto de comienzo, elévela y vuelva a empezar con una velocidad de avance más baja. Asegúrese de que el taladro comience recto.

CAPITULO IV: FALLAS EN LOS ACEROS DE PERFORACIÓN

En este capítulo se describirá las fallas de cada componente de la columna de perforación; que usualmente se presentan en operación describiendo las causas y dando las respectivas soluciones.

4.1 FALLAS EN BROCAS

A) Lavado de cuerpo

✓ **Causas:**

- Exceso volumen de barrido de agua.
- Perforación con exceso caudal de barrido de agua que puede en algunas rocas, causar voladura de arena en el acero y también protuberancia que conlleva a la rotura de los botones.

✓ **Recomendaciones:**

- Acortar los intervalos de afilado.

- Reducir el volumen de fluido.



FIGURA 75: ROTURA DE BROCA POR LAVADO DE CUERPO

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

B) Rajadura en el Borde de la Broca

✓ Causas:

- Procedimiento erróneo al querer colocar la broca y perforar sin que esté bien fijada y percutar demasiado al momento de empezar la perforación.
- Mal emboquillado al momento de iniciar la perforación de un taladro. La broca presenta despostillamientos en la parte inicial de la rosca.
- Mal procedimiento al momento de extraer o aflojar la broca.
- Perforación con roscas gastadas.

- Mala práctica de querer corregir el paralelismo cuando ya se está perforando más de un pie de profundidad que ocasiona flexionamiento de la barra y rotura de broca.
- ✓ **Recomendaciones:**
 - Aplicar una mínima cantidad de presión al momento del desacople de la broca.
 - Reducir la percusión y avance cuando se emboquilla.
 - Use broca retráctil cuando el tipo de terreno es fracturado.
 - Cambiar la broca cada cierto número de taladros para afilarla (intervalo de afilado).
 - Utilizar grasa en la rosca de la broca y barra.
 - Desaflojar la broca con el mecanismo de impacto mientras se apoya sobre la superficie de la roca.
 - Utilice poco avance y no rotación.



FIGURA 76: ROTURA POR RAJADURA EN EL BORDE DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

C) Grieta entre los Insertos y Agujeros de la Broca

✓ **Causas:**

- Falla final cuando perfora una broca de botones grandes (pesados) en rocas que no desgastan como la caliza.
- Error de fabricación. Imprecisión del botón inferior en la perforación.

✓ **Recomendaciones:**

- Cambiar a otro diseño de broca.
- Retornar a fábrica para su análisis.

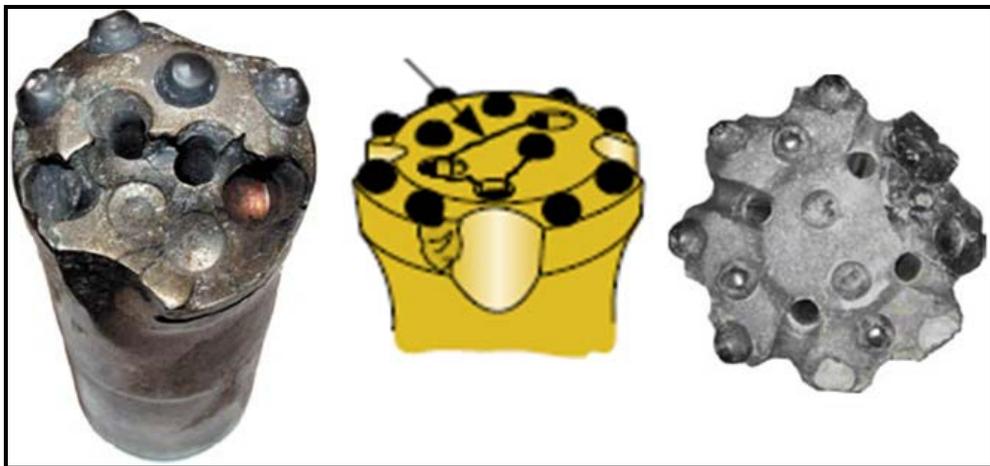


FIGURA 77: GRIETA ENTRE LOS INSERTOS Y AGUJEROS DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

D) Rajadura en la Parte Inferior de los Insertos

✓ **Causas:**

- Fatiga del acero.
- Error de fabricación. Imprecisión del botón inferior en la perforación.

✓ **Recomendaciones:**

- Falla final normal por larga vida útil.
- El botón está desgastado.
- Retornar para el análisis.



FIGURA 78: RAJADURA EN LA PARTE INFERIOR DE LOS INSERTOS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

E) Rotura Anular en el Cuerpo de la Broca

✓ **Causas:**

- Excesiva rotación aplicada cuando se quiere extraer la broca atascada.

- Mal procedimiento al momento de extraer la broca.
 - Baja resistencia de la roca.
 - Corrosión.
 - Excesiva percusión al extraer la broca.
 - Fatiga del acero.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Aplicar una cantidad mínima de presión de percusión para liberar a la broca y después incrementar la velocidad de rotación.
 - Reducir la percusión y avance cuando se desenrosca.
 - Mejorar las prácticas de almacenamiento. Neutralizar agente de fluidos ácidos.
 - Afloje un poco con el mecanismo de impacto mientras se asienta con firmeza contra la roca. Use poco avance y no rotación, o use llave especial.
 - Use broca retráctil.
 - Reducir el poder de impacto.
 - Falla normal por larga vida de acero.



FIGURA 79: ROTURA ANULAR EN EL CUERPO DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

F) Perdida de Insertos

✓ **Causas:**

- Desgaste del cuerpo de la broca por perforar en terreno abrasivo.
- Percusión en vacío.
- Presión inadecuada de avance.
- Ajuste con broca.
- Incorrecta relación de tamaño entre botón y agujero para el botón.

✓ **Recomendaciones:**

- No percutar mucho al menos que la broca este pegada en la roca.
Use presión de percusión reducido en el emboquillado en superficies irregulares.

- Incrementar la presión de avance.
- Retornar para análisis a fábrica.

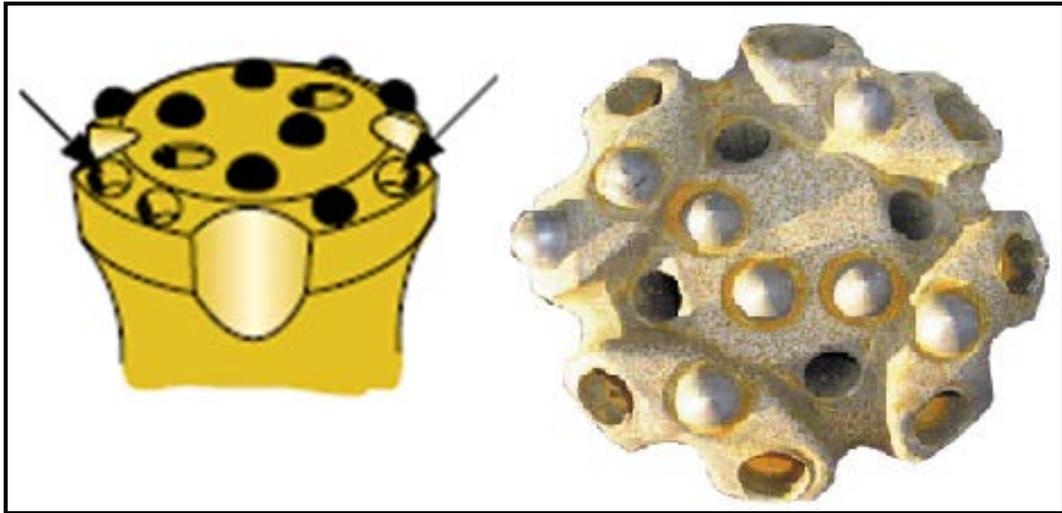


FIGURA 80: PERDIDA DE INSERTOS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

G) Micro Fisuras o Piel de Serpiente en los Insertos

✓ **Causas:**

- Perforar en terreno no abrasivo, crea micro fisuras en el botón observándose piel de serpiente en los insertos.
- La roca deja una superficie brillante en los insertos y una fatiga en los botones que lo agrietara a medida que se siga perforando.

✓ **Recomendaciones:**

- Afilar los insertos incluso si no presenta demasiado desgaste, para evitar las microfisuras.

- Use un grado más suave de inserto.

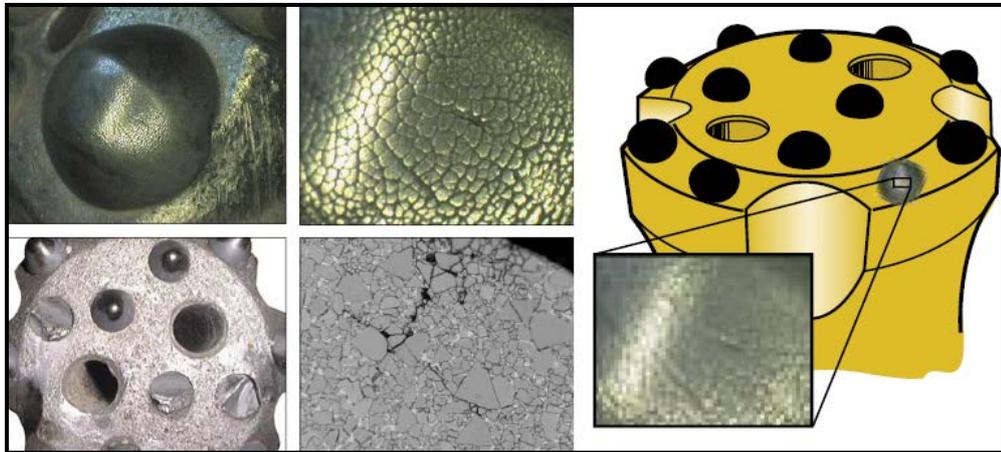


FIGURA 81: MICROFISURAS O PIEL DE SERPIENTE EN LOS INSERTOS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

H) Rotura de Insertos por Debajo del Cuerpo de la Broca

✓ **Causas:**

- Excesiva presión del avance y/o posible desviación del taladro.
- Excesiva protuberancia del botón mediante incorrecto afilado o lavado de acero. Protuberancia mayor que $\frac{3}{4}$ del diámetro del botón puede no proporcionar suficiente soporte para resistir las fuerzas de tracción que el botón pueda encontrarse.
- Incorrecta relación entre botón y agujero del botón.

✓ **Recomendaciones:**

- Acortar el intervalo de afilado.

- Retornar para el análisis.



FIGURA 82: ROTURA DE INSERTOS POR DEBAJO DEL CUERPO DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

I) Insertos Triturados Dentro de la Broca

✓ Causas:

- Malas prácticas al aflojar la broca de la barra (excesiva percusión en vacío y rotación).
- Demasiada forma cónica del botón para roca abrasiva. (puede ser por el incorrecto afilado).
- Excesiva protuberancia del botón mediante incorrecto afilado o lavado de acero. Protuberancia mayor que $\frac{3}{4}$ del diámetro del botón puede no proporcionar suficiente soporte para resistir las fuerzas de tracción que el botón pueda encontrar.

✓ **Recomendaciones:**

- Asegurar que el boom (sistema de articulación del equipo) este seguro. Empezar el emboquillado a impacto reducido entonces aumentar la presión a completa una vez que la broca este incrustado 20 cm en la roca.
- Afilar los botones a su forma normal.
- Asegúrese de que los procedimientos para afilar sean los correctos.



FIGURA 83: INSERTOS TRITURADOS DENTRO DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

J) Insertos Picados

✓ **Causas:**

- Sobreperforación.
- Malas técnicas de afilado de brocas.
- Piel de serpiente. Sobreperforación en roca suave y no abrasiva que deja la superficie de los botones con brillo.

- El inserto de la broca es demasiado duro.
 - No hay contacto entre el botón y la roca en el impacto (percusión en vacío)
- ✓ **Recomendaciones:**
- Acortar el intervalo de afilado. Afilar el botón cuando el desgaste es de 1/3 del diámetro del botón.
 - Regularmente inspeccionar los botones y afilarlos para evitar microfisuras en las superficies de los botones.
 - Elija el grado más suave o duro de carburo según trabajo.
 - Incrementar la velocidad de rotación.



FIGURA 84: INSERTOS PICADOS

Fuente: Catálogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

K) Insertos Destruídos Bajo el Nivel del Cuerpo de la Broca

- ✓ **Causas:**

- Piel de serpiente. Sobreperforación en roca suave y no abrasiva que deja la superficie de los botones con brillo y fatiga en la superficie de los carburos cementados que se ven como piel de serpiente.
 - Sobreperforación.
 - Incorrecto grado de carburo.
 - Incorrecto proceso de afilado.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Regularmente inspeccionar los botones y re-afilarlos aunque no parezcan estar desgastados para remover las microfisuras en la superficie de los botones.
 - Acortar el intervalo de afilado.
 - Cambiar el grado de carburo. Mirar el catalogo o guía de selección de broca.
 - No afilar en seco porque puede provocar piel de serpiente. Afilarse siempre con fluido de agua.
 - Implementar técnicas de perforación para evitar tener taladros desviados.



FIGURA 85: INSERTOS DESTRUIDOS BAJO EL NIVEL DEL CUERPO DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

L) Insertos Agrietados

✓ **Causas:**

- Sobreperforación.
- Piel de serpiente.
- Incorrecto proceso de afilado.
- El carburo del botón es demasiado duro.

✓ **Recomendaciones:**

- Afilar cuando el desgaste es como máximo $1/3$ del diámetro del botón.
- Inspeccionar regularmente las brocas y afilarlas para remover microfisuras de la superficie de los botones.
- Afilar en seco promueve la piel de serpiente; use agua.

- Escoger duro o suave grado de carburo de acuerdo al trabajo.
- Usar las copas de afilado respectivas para cada tipo de botón.

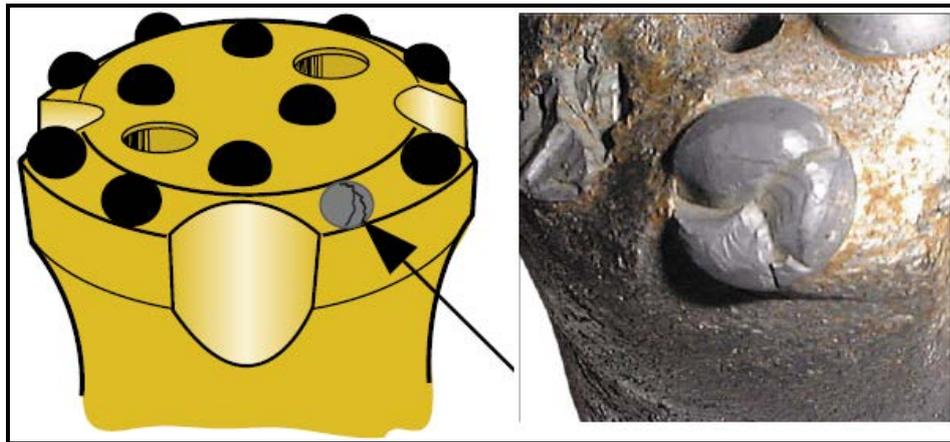


FIGURA 86: INSERTOS AGRIETADOS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

M) Desprendimientos de Insertos a Nivel del Cuerpo de la Broca

✓ **Causas:**

- Sobreperforación.
- Perforación en contra otro metal.
- Piel de serpiente.
- Excesiva protuberancia del botón mediante incorrecto afilado o proceso de fabricación del acero. Protuberancia mayor que $\frac{3}{4}$ del diámetro del botón puede no proporcionar suficiente soporte para resistir las fuerzas de tracción que el botón pueda encontrar.

✓ **Recomendaciones:**

- Acortar el intervalo de afilado. Afilar cuando el desgaste es como máximo $1/3$ del diámetro del botón.
- Asegurar correctas prácticas de perforación.
- Inspeccionar regularmente las brocas y afilarlas para remover microfisuras de la superficie de los botones.



FIGURA 87: DESPRENDIMIENTOS DE INSERTOS A NIVEL DEL CUERPO DE LA BROCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

4.2 FALLAS EN BARRAS

Dentro de las barras descartadas, no es necesario desechar todas las barras, aquellas que estén dobladas con frecuencia se puede enderezar, bien en el propio taladro o bien con ayuda de una prensa de enderezamiento. No obstante, hay que recordar que una barra que se ha doblado y posteriormente ha sido enderezado no tendrá la misma vida útil.

En la figura se muestra los esfuerzos a que son sometidas las barras y que producen fatigas que dá como resultado las fallas más comunes que suele ocurrir en la operación; donde posteriormente se describirá con mayor detalle.

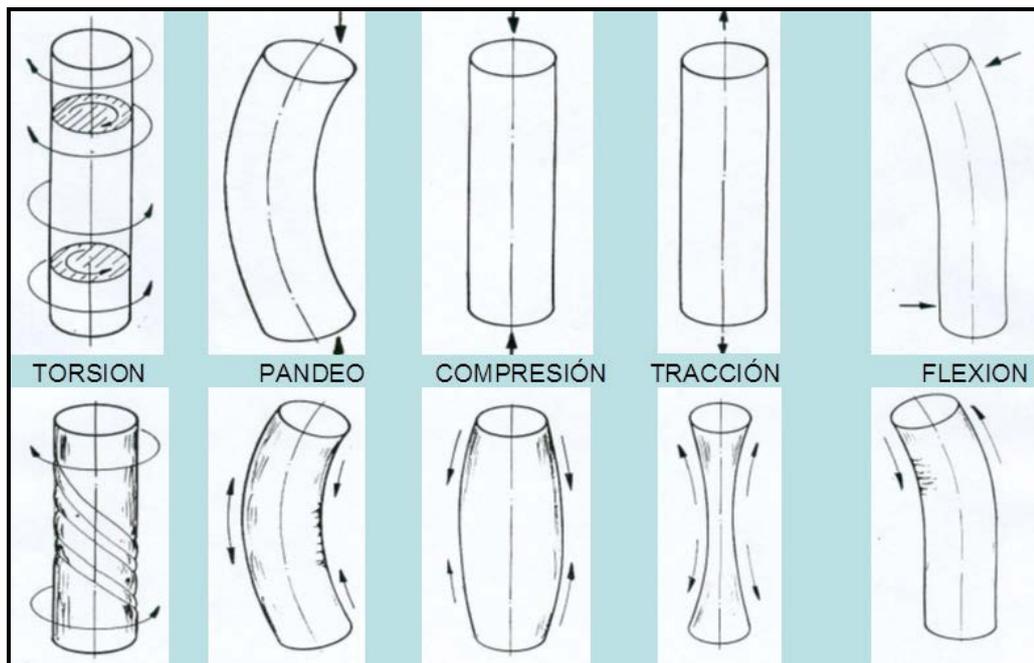


FIGURA 88: TIPOS DE DESCARTES FRECUENTES EN LAS BARRAS

Fuente: Manual de Perforación – Sandvik

A) Superficie Dañada de la Barra y Fatiga Rosa Originada en la Superficie

✓ **Causas:**

- Superficie dañada por centralizador desgastado.
- Presencia de una superficie brillante (forma martensita) debido a rotación contra acero.

- No usar centralizador, causa desviación.
 - Fisuras ocasionadas por golpes externos.
 - Uso y cuidados inapropiados de las barras.
 - Emboquillados violentos.
 - Excesivo avance.
 - Desalineamiento en la columna de perforación (desgaste del carril de la viga, desgaste de boom).
 - Perforación en roca muy fracturada.
 - Perforar con viga torcida o doblada.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Cambio oportuno de centralizadores, siempre debe haber 5mm de espacio anular entre la barra y centralizador.
 - Garantizar el buen estado de la viga.
 - Evite golpear las barras transversalmente. Usar llaves especiales para desajustar las barras. Usar grasa grafitada en las roscas entre aceros para evitar desgaste.
 - No almacene barras en sitios inadecuados como la intemperie.
 - Use herramientas adecuadas y evitar emboquillados violentos

- Monitorear la presión de avance en función al tipo de roca.
- Sustituir aceros desgastados.
- Regular las presiones según las condiciones de roca (use broca retráctil si la roca esta demasiada fracturada).
- Tener cuidado especial en el paralelismo del taladro para no ocasionar flexionamiento en la barra.
- Comprobar la viga si esta doblado o torcido.

Obs: Forma Martensita: Los aceros con microestructura martensítica son los más duros y mecánicamente resistentes, pero también los más frágiles y menos dúctiles. La dureza de estos aceros depende del contenido en carbono; aun así, son más tenaces que los aceros perlíticos. El enfriamiento rápido (o temple) del acero austenizado, hasta temperatura próxima a la ambiental, origina otro micro constituyente denominado martensita.



FIGURA 89: SUPERFICIE DAÑADA DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

B) Rotura de Barra por una Falla Rose en el Centro

✓ Causas:

- Corrosión causada por agentes fluidos corrosivos.
- Insuficiente protección contra la corrosión.
- Poros en el canal de barrido.

✓ Recomendaciones:

- Asegurar de seguir las prácticas correctas de almacenamiento de aceros.
- Cambiar componentes con mayor frecuencia o neutralizar la acidez del agua del barrido si se tiene.
- Retornar para análisis a fábrica porque puede ser por mala calidad.

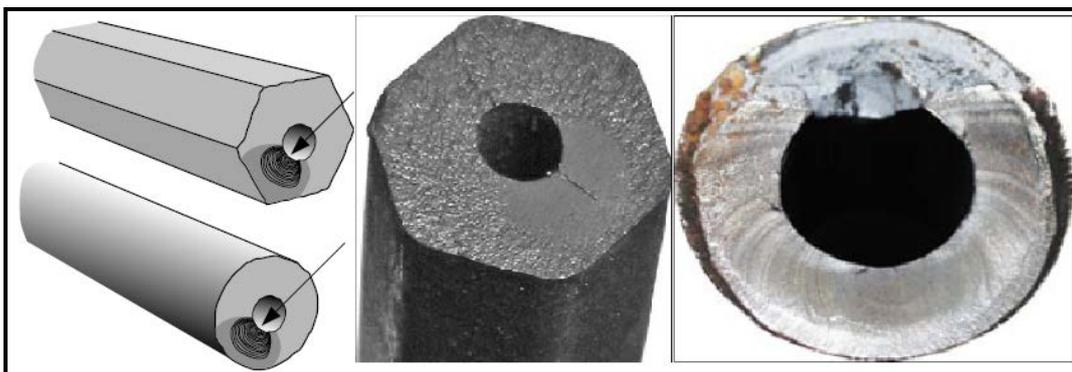


FIGURA 90: ROTURA DE BARRA POR EL CENTRO

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

C) Picadura y Desgaste en las Roscas de las Barras

✓ **Causas:**

- Sobrecalentamiento de las roscas debido a la desviación del taladro; desaflojamiento entre conexiones y excesiva energía de percusión en toda la columna.
- Demasiada percusión en vacío o perforación en terreno con geodas, fracturado y suave.
- Trabajar con barras que tienen las roscas desgastadas.
- Perforación con broca equivocada o sobre perforada.

✓ **Recomendaciones:**

- Graduar la presión de percusión y avance a las condiciones (en la mayoría de casos reducir la presión de percusión y aumentar la presión de avance).
- Use brocas de botón balístico para ayudar al mejor desenvolvimiento de la columna en terreno suave generalmente en caliza.
- Si la causa es por desviación adoptar medidas para llevar al taladro en buen paralelismo, pudiendo ser el uso de tubo guía.

- No aumentar la percusión hasta que la broca no este firmemente junto a la roca. Usar percusión reducida en superficies desiguales o nivelar la superficie de contacto.
- No usar roscas desgastadas con roscas nuevas; reemplazar componentes malos en todo caso cambiar todos los componentes, usualmente shank y barra.
- Afilar las brocas cuando tengan un desgaste de la 1/3 parte de su diámetro (de cada inserto).



FIGURA 91: DESGASTE EN LAS ROSCAS DE LAS BARRAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

D) Falla en el Comienzo de la Rosca o Donde el Acople Termina

✓ **Causas:**

- Desviación del taladro por no usar tubo guía y broca retráctil.
- Roscas desgastadas de la barra o del Coupling. Acoplamiento aflojado (unión desgastada) o colocación errada de la rosca del Coupling con la barra.
- Deflexión debido a sobrepresión de avance.
- Falta de recarga en el acumulador de energía.
- Demasiada fuerzas rotacionales reflejadas debido a la perforación con brocas equivocadas o sobreperforadas haciendo que la energía transmitida se refleje en su totalidad.
- Pobres condiciones de perforación. Continuar la percusión aun cuando la barra está atascada. (percusión en vacío).

✓ **Recomendaciones:**

- Emplear tubos guías o brocas balísticas según la condición del terreno.
- Reemplazar componentes errados. No mezclar roscas nuevas con roscas usadas o desgastadas. De preferencia cambiar Coupling y barras juntos.

- Reducir la presión de avance.
- Utilizar instrumentos para monitorear y controlar la desviación de los taladros, reemplazar componentes defectuosos o desgastados.
- Cumplir con el intervalo de afilado (desgaste mínimo de 1/3 del diámetro del inserto).
- Verificar el funcionamiento del sistema de anti-atasque de los Jumbos.
- Ajustar las presiones según condición de roca. Use broca retráctil para conservar el alineamiento.



FIGURA 92: FALLA EN EL COMIENZO DE LA ROSCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

E) Picadura y Rotura en la Rosca Macho de la Barra

- ✓ **Causas:**
- Inadecuada presión de avance.
 - Uso de acoplamiento equivocado.

- Desalineamiento o desviación de barras con extensión. El acero golpea al acoplamiento.
 - Perforar con brocas equivocadas o sobre perforadas.
 - Fatiga por corrosión debido a fluidos corrosivos.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Ajustar las presiones según condición de roca. Use broca retráctil cuando se tenga terreno dificultoso y se quiera mantener el alineamiento.
 - Reemplazar los componentes desgastados. No mezclar roscas nuevas con usadas.
 - Mantener los botones de las brocas afilándolos a su debido tiempo.
 - Reemplazar por otro tipo de barra o probar con otro tipo de rosca. Tratar el agua porque puede ser que estemos a emplear agua acida para el barrido.

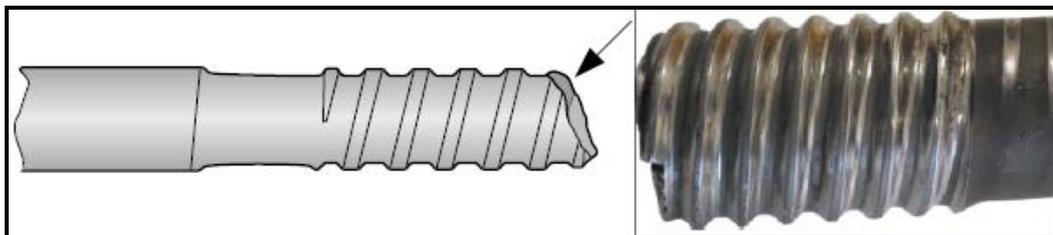


FIGURA 93: PICADURA Y ROTURA EN LA ROSCA MACHO DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

F) Picadura y Rotura en la Rosca Hembra de la Barra

✓ **Causas:**

- Taladro desviado o desalineamiento de avance.
- Inadecuado presión de avance. Picaduras en forma de punto en los hilos (rosca).
- Alto torque de perforación con brocas sobre perforadas.
- Roscas no coincidentes.
- Abolladura o corte en la superficie del acero.

✓ **Recomendaciones:**

- Emplear herramientas guía (tubos guía) para el alineamiento del taladro y brocas de botones balístico en terrenos muy suave.
- Monitorear la presión de avance y afinar para las condiciones que se tengan.
- Afilar la broca cuando el desgaste sea de 1/3 del diámetro de botón.
- Asegurar que todos los componentes de la columna sean de SANDVIK. No mezclar y combinar una marca con otra (no todos los aceros tienen la misma aleación).

- Evitar percutar en vacío para aflojar conexiones. Usar una llave para aflojar las conexiones. Emplear el cuidado y los procedimientos de manipulación.

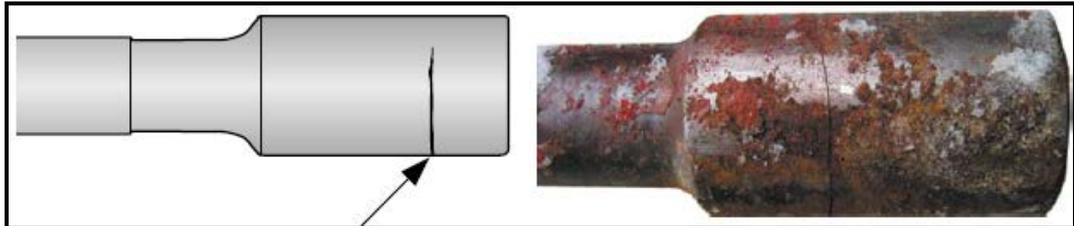


FIGURA 94: PICADURA Y ROTURA EN LA ROSCA HEMBRA DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

G) Rotura en el Coupling de la Barra

✓ **Causas:**

- Juntas o roscas no están firmemente acopladas.
- Desalineamiento en las barras. La rosca macho del acero golpea al acoplamiento en la rosca hembra de la siguiente barra.

✓ **Recomendaciones:**

- Asegurar que las uniones o roscas estén bien acopladas antes de empezar la percusión.
- Alinear los componentes de perforación con extensiones.

- Comprobar y solucionar algún problema de desviación de taladros mediante uso de tubo guía, si se perfora longitudes de más de 9 metros, o broca retráctil en terreno fracturado.

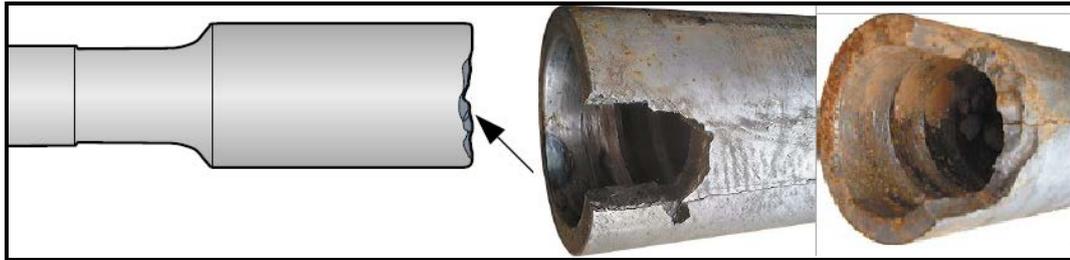


FIGURA 95: ROTURA EN EL COUPLING DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

H) Rotura Longitudinal en el Coupling de la Barra

✓ **Causas:**

- Roscas desgastadas y uso de brocas sobreperforadas.
- Falta de recarga en los acumuladores.
- Taladros desviados. La rosca macho del acero golpea al acoplamiento en la rosca hembra de la siguiente barra.

✓ **Recomendaciones:**

- Reemplazar los componentes desgastados a tiempo.
- Tomar acciones para perforar taladros rectos. A partir de la tercera barra use broca retráctil y tubo guía.
- Evitar percutar al momento de retornar la columna del taladro.

- Asegurar que las uniones estén bien ajustadas antes de percutar y engrasar las roscas para facilidad de desflojamiento.

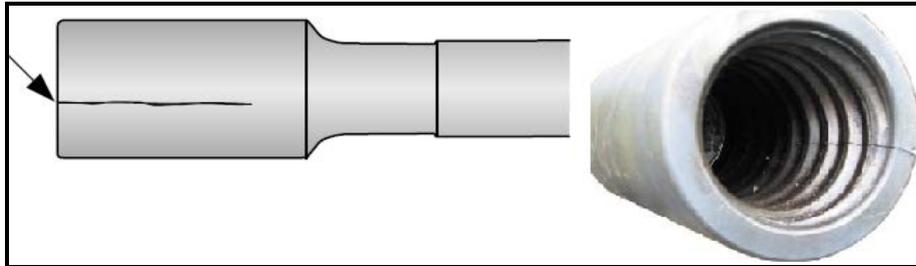


FIGURA 96: ROTURA LONGITUDINAL EN EL COUPLING DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

I) Rotura en el Cuerpo de la Barra

✓ **Causas:**

- Desviación de la columna de perforación (corregir el taladro cuando ya se tiene más de 20 cm de perforado).
- Demasiada percusión cuando se tiene la barra atascada.
- Centralizadores desgastados y sobre perforar la broca.
- Sobrepresión de avance al momento de empezar la perforación y mal emboquillado.

✓ **Recomendaciones:**

- Cambiar oportunamente los centralizadores (desgaste mínimo de 5 mm anular con respecto a la barra).

- Monitorear la presión de avance en función al tipo de roca.
- Cambiar la broca oportunamente y evitar la sobreperforación de la misma (según desgaste que se tenga “intervalo de afilado”).
- No percutar a toda potencia sino se tiene perforado por lo menos 20 cm de profundidad.

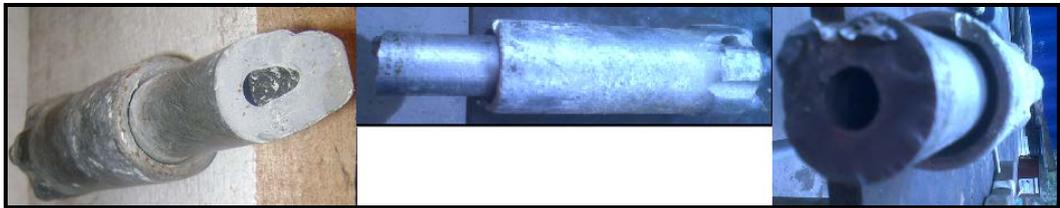


FIGURA 97: ROTURA EN EL CUERPO DE LA BARRA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

4.3 FALLAS EN SHANK

A) Rotura, Picadura por Impacto en la Parte Final de las Aletas

✓ **Causas:**

- Champeo de Shank a consecuencia del desgaste de buje
- Trabajar con el pistones dañados, no pasa la suficiente lubricación por el shank.

✓ **Recomendaciones:**

- Sustituir los componentes desgastados de la máquina perforadora.
- Reemplazar los pistones del martillo.

- Mejorar el servicio del equipo y la máquina perforadora.

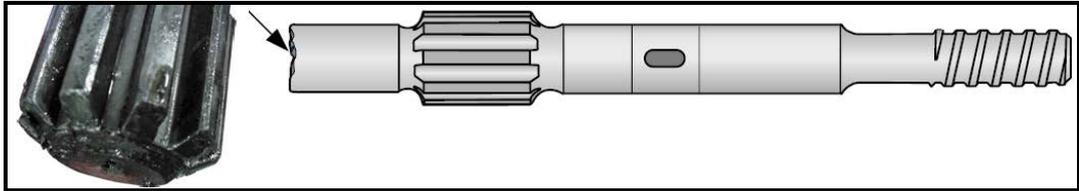


FIGURA 98: PICADURA POR IMPACTO EN LA PARTE FINAL DE LAS ALETAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

B) Falla a Través de las Aletas

✓ **Causas:**

- Deficiencia o mala lubricación en la perforadora.
- Incorrecta o mala calidad de los aceites para la lubricación del shank.
- Atascamiento de columna (barra rota), o excesiva percusión en vacío.
- Desgaste del Coupling de bronce de la perforadora.
- Alto e incorrecto torque de los tirantes.
- Usar brocas sobre perforadas.
- Inadecuada presión de avance.

✓ **Recomendaciones:**

- Asegurar la funcionalidad de la lubricación. Cambiar al aceite correcto.
- Sustituir los componentes desgastados de la máquina perforadora.
- Usar brocas retractiles y activar el sistema anti atasque cuando se está perforando en terrenos complicados.
- Ajustar a las presiones correctas según condición de terreno.
- Afilar las brocas cuando está el botón está desgastado 1/3 parte del diámetro.
- Monitorear la temperatura del Coupling y ajustar la presión de avance de acuerdo a las recomendaciones.



FIGURA 99: FALLA A TRAVÉS DE LAS ALETAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

C) Desgaste en la Parte Inferior de las Aletas

✓ **Causas:**

- Excesiva rotación cuando retorna la cadena.
- Excesivo esfuerzo al intentar de recuperar el atascamiento de la columna de perforación.
- Usar aceros de diferentes marcas.

✓ **Recomendaciones:**

- Ajuste velocidad de rotación.
- Use brocas retractiles y activar el sistema de anti atasco del equipo cuando está perforando. Use una perforadora con poder extractor.

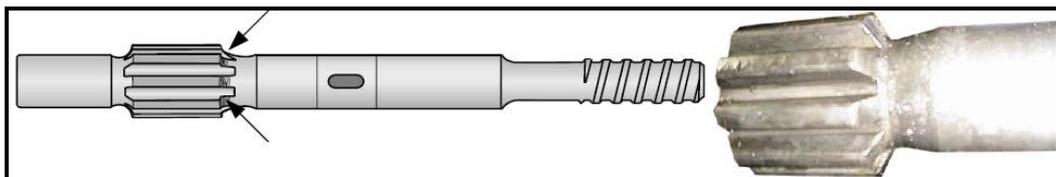


FIGURA 100: DESGASTE EN LA PARTE INFERIOR DE LAS ALETAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

D) Rotura al Inicio de la Rosca

✓ **Causas:**

- Desestabilidad del boom (sistema de articulación del equipo), lo que genera un excesivo pandeo o movimiento brusco.

- Desalineamiento en la parte frontal de la perforadora por el desgaste del bushing.
 - Excesiva presión de avance.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Asegurarse que el boom del equipo este alineado cuando se está perforando.
 - Sustituir los componentes y accesorios de perforacion desgastados.
 - Reducir las presión de avance, regule las presiones en función al tipo de roca.

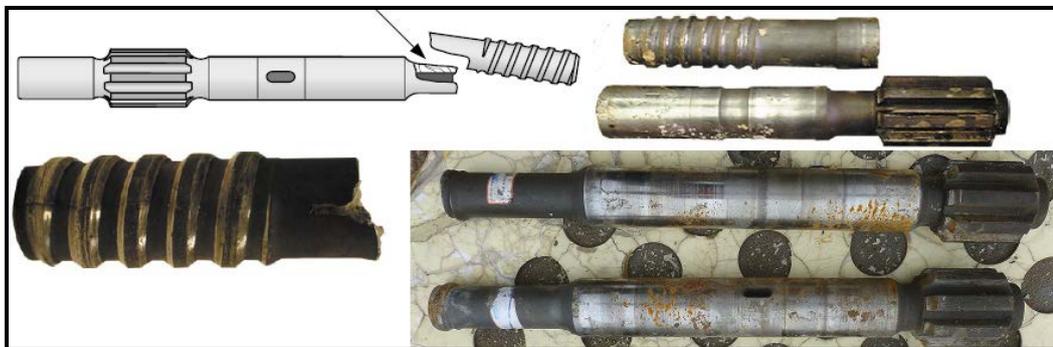


FIGURA 101: ROTURA AL INICIO DE LA ROSCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

E) Falla y Picaduras en Roscas

✓ **Causas:**

- Perforación en vacío lo que genera calor y picaduras en las roscas.
- Desalineamiento del boom (sistema de articulación del equipo).
- Mezclar aceros de distintas marcas. Falta de lubricación en las roscas.
- Desgaste del Coupling de la barra. Continuar percutando cuando la barra se ha atascado.
- Desalineamiento en el emboquillado
- Sobrepresiones en la perforación.
- Alta rotación del torque al trabajar con brocas sobre perforadas (brocas sin afilar) que provoca el retorno de la energía.
- Lubricación deficiente del martillo que origina que se recaliente el cuerpo del shank.

✓ **Recomendaciones:**

- Evitar las percusiones en vacío y ajustar las presiones de avance y rotación según condición de roca.
- Asegurarse el alineamiento del boom.

- Use componentes de una misma marca en este caso **Sandvik**.
- Sustituir Couplings desgastados. Usar grasa grafitada de aluminio cuando se engranan las roscas.
- Emplear herramientas adecuadas para el emboquillado.
- Realizar el afilado de brocas cuando tienen un desgaste de inserto de la 1/3 parte del diámetro.
- Revisar el sistema de lubricación según el mantenimiento programado.



FIGURA 102: FALLA Y PICADURAS EN ROSCAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

F) Falla en el Cuerpo del Shank

✓ **Causas:**

- Desalineamiento de la columna por el desgaste del bushing frontal.
- Deficiencias de lubricación.

✓ **Recomendaciones:**

- Sustituir los componentes desgastados.
- Garantizar la correcta lubricación.

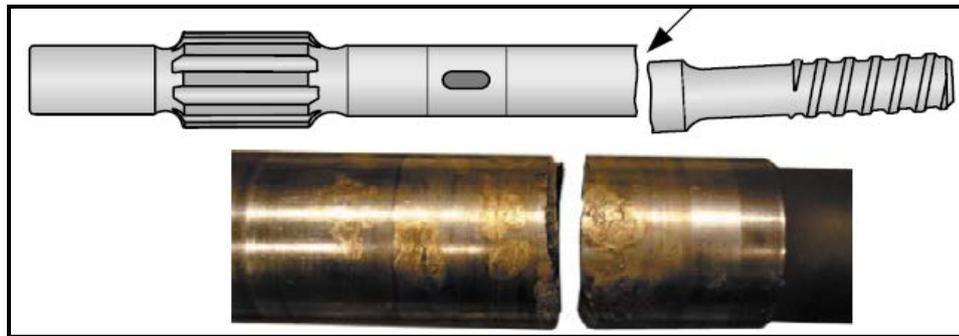


FIGURA 103: FALLA EN EL CUERPO DEL SHANK

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

G) Corrosión

✓ **Causas:**

- Corrosión del acero a consecuencias de agua muy acida.
- Agua de barrido contaminada (sucio).
- Fatiga.

✓ **Recomendaciones:**

- Neutralizar el agua de barrido.
- Utilizar agua limpia de cuenca o utilice filtros de agua.

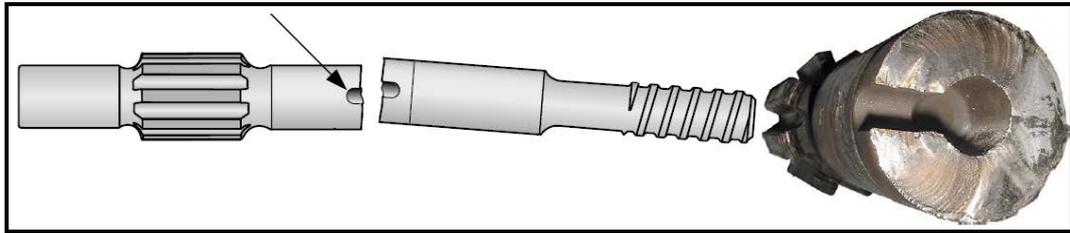


FIGURA 104: CORROSIÓN EN EL CUERPO DEL SHANK

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

H) Picaduras y Golpes en las Roscas

✓ Causas:

- Presiones de percusión y avance no equilibradas al tipo de terreno.
- Incorrecta relación entre la presión de avance y la presión de rotación en el roscado de barras.
- No utilizar grasa para el acople de los roscas. Articuciones flojas en las roscas. Roscas desgastadas y usar brocas sobreperforadas.
- Percusiones en vacío en el emboquillado.

✓ Recomendaciones:

- Verificar la temperatura del Coupling en la perforación, y ajusta las presiones de acuerdo lo recomendado en el catálogo.
- Realice el ajuste en las uniones y roscas de acuerdo a lo especificado en catálogo.
- Use grasa adecuada en el embonado de barras y roscas.

- Nivelar las superficies desiguales y evitar percutar en vacío.



FIGURA 105: PICADURAS Y GOLPES EN LAS ROSCAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

I) Picaduras y Despostillamientos en las Aletas

✓ Causas:

- Mala o poca lubricación en el martillo hidráulico hacia el shank.
- Excesiva rotación en terreno suave o roca movediza.
- Calentamiento del aceite de lubricación.
- Atascamiento de columna de perforación e intentar recuperar con la máquina perforadora.

✓ Recomendaciones:

- Asegúrese que a la perforadora este llegando la lubricación.
- Ajuste de las presiones de perforación de acuerdo al tipo de roca.
- Utilice aceite recomendado.
- Equipar con una unidad de refrigeración.

- Utilice brocas retractiles en terreno fracturado y activar el sistema de anti atasque. Utilice equipo extractor de barras.

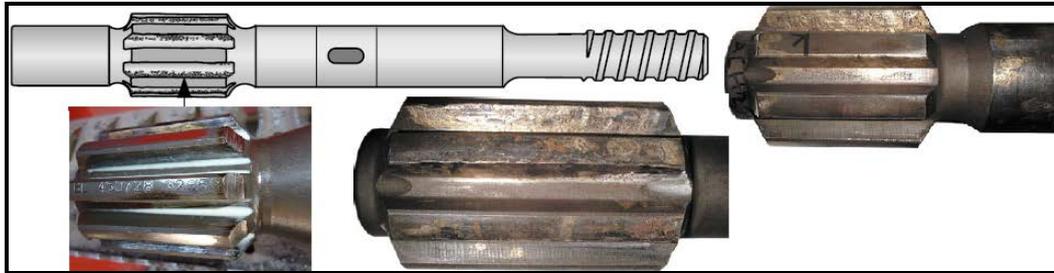


FIGURA 106: PICADURAS Y DESPOSTILLAMIENTOS EN LAS ALETAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

J) Desgaste Excesivo en la Parte Superior de las Aletas

✓ **Causas:**

- Insuficiencia en la presión de avance.
- Desgaste del buje de rotación.
- Acumuladores en mal estado o falta de carga.

✓ **Recomendaciones:**

- Ajuste las presiones de avance según las recomendaciones.
- Cambiar de buje.
- Reparación de los acumuladores. Revisar semanalmente los acumuladores para evitar descargas.

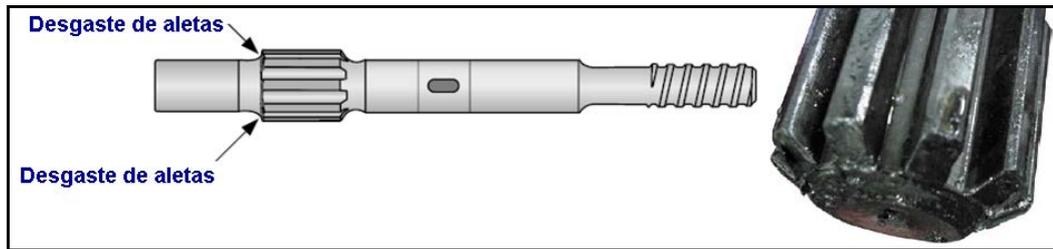


FIGURA 107: DESGASTE EXCESIVO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS ALETAS

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

K) Astillamiento en la Parte Final de la Rosca

✓ Causas:

- Adaptadores sueltos (Shank y Coupling), adaptador está demasiado suelto y desalineamiento del boom (sistema de articulación del equipo).
- Selección inadecuada de shank para el tipo de trabajo.
- Trabajar con barras rotas y/o rajadas.
- Desviación del taladro.

✓ Recomendaciones:

- Inspeccione los adaptadores sueltos y asegure el alineamiento del boom.
- Seleccione un shank adecuado para el tipo de trabajo.
- No mezclar aceros usados con nuevos – Cambio oportuno de barra.

- Comprobar la desviación de los taladros.

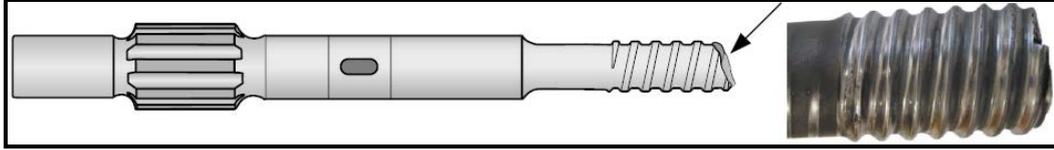


FIGURA 108: ASTILLAMIENTO EN LA PARTE FINAL DE LA ROSCA

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

4.4 FALLAS EN COUPLINGS

A) Marca de Impacto y Picaduras al Final del Coupling

✓ **Causas:**

- Empezar a perforar (percusión y rotación) con el extremo del shank sin estar bien enroscado. Golpe entre aceros Coupling y barra.
- Desalineamiento del taladro.
- Desalineamiento debido a los taladros.

✓ **Recomendaciones:**

- No empezar la perforación (percusión o rotación) si las roscas del shank no están bien acopladas dentro del Coupling.
- Solucionar los problemas del equipo afectado o parte afectada.
- Tomar acciones para perforar taladros rectos, por ejemplo: usar broca retráctil, tubo guía, etc.

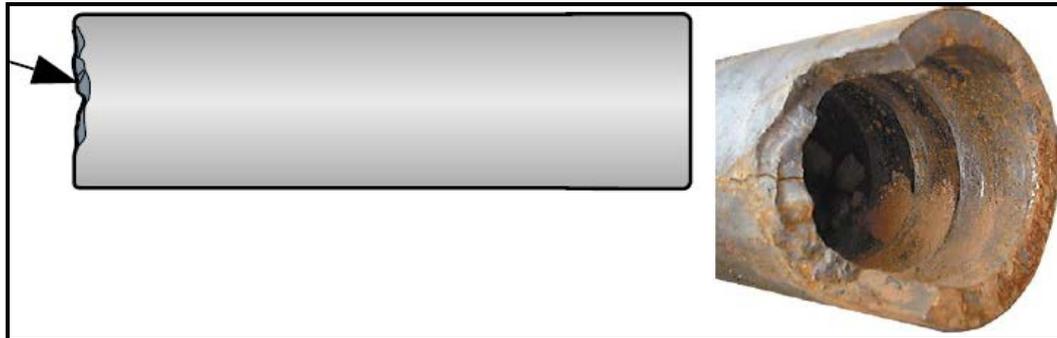


FIGURA 109: MARCA DE IMPACTO Y PICADURAS AL FINAL DEL COUPLING

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

B) Rotura Longitudinal

✓ **Causas:**

- Perforar con roscas desgastadas que no logran buena unión entre aceros.
- Retroceder la viga con percusión.
- Abolladura o picadura en la superficie del acero debido a acumuladores descargados.
- Taladros desviados.

✓ **Recomendaciones:**

- Incrementar la fuerza de avance. Asegurar que las juntas y roscas estén enroscados antes de percutar. Evitar excesivo impacto al momento de retornar la viga.

- Evitar golpes en las conexiones. Rotar para aflojar o usar una llave para desaflojar las uniones. Emplear el cuidado y manejo adecuado.
- Tomar acciones para perforar taladros rectos; por ejemplo usar brocas retractiles. Y revisar acumuladores quincenalmente.

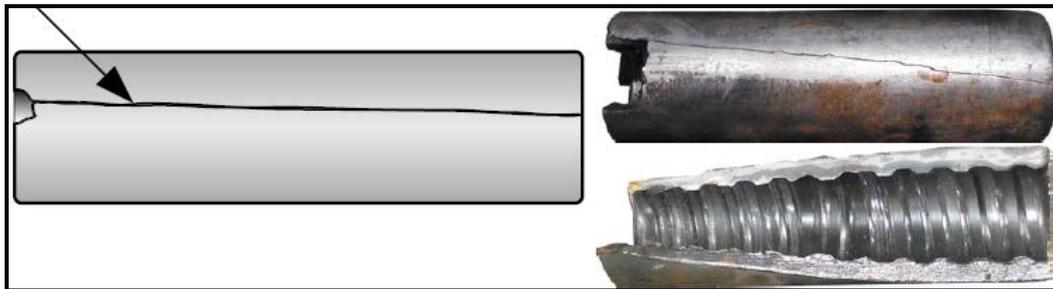


FIGURA 110: ROTURA LONGITUDINAL

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

C) Rotura Transversal

- ✓ **Causas:**
 - Abolladura o picadura en la superficie del acero.
 - Taladros desviados o desalineamiento de avance.
 - Inadecuada presión de avance.
 - Alta energía de la percusión de brocas sobre perforadas.
 - Roscas que no coinciden.

✓ **Recomendaciones:**

- Evitar golpes en las conexiones. Rotar para aflojar o usar una llave para desaflojar las juntas. Emplear el cuidado y manejo adecuado.
- Revisar los acumuladores cada quince días.
- Emplear tubo guía si se perfora más de 9 metros y usar brocas retractiles si se perfora en terreno fracturado.
- Monitorear fuerza de avance y afinar las condiciones de trabajo.
- Realizar el afilado de brocas cuando tienen un desgaste de inserto de la 1/3 parte del diámetro.
- Asegurar que todos los componentes sean SANDVIK y no mezclar y combinar con otras marcas.

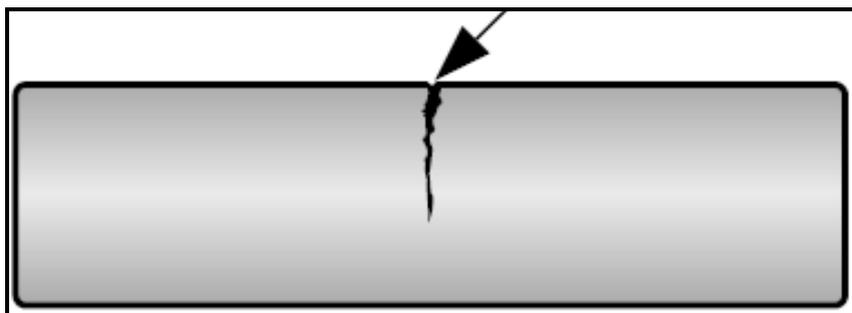


FIGURA 111: ROTURA TRANSVERSAL

Fuente: Catalogo de Fallas de Aceros de Perforación – Elaboración Propia

CAPITULO V: EFICIENCIA EN LA PERFORACIÓN

En todo trabajo siempre se quiere tener una eficiencia de casi al 100% o por lo menos acercarnos a esa cifra; más para llegar a esta meta se debe aplicar una serie de pautas que harán posible que lleguemos a obtener estos resultados deseados; en los capítulos anteriores describimos como seleccionar el equipo, la columna de perforacion adecuada para cada tipo de trabajo, las causas y recomendaciones de las fallas en los equipos y columna de perforación; ahora en el presente capitulo describiremos las condiciones que harán que finalmente obtengamos la eficiencia en la perforación tanto cualitativamente como cuantitativamente.

5.1 AFILADO DE BROCAS

Es la restauración del inserto a su estado original, devolviéndole la forma esférica que tenía.

- ✓ Un lugar apropiado donde los residuos no contaminen el medio ambiente.
- ✓ Construir un trípode para el afilado de brocas, con las roscas de acuerdo a la broca que se está usando; estas roscas son obtenidas de las barras descartadas.
- ✓ Copas de afilado para cada medida de inserto que se tiene en la broca a afilar.
- ✓ Una cajita porta broca para llevar mejor el control de metros perforados.
- ✓ Tener la maquina afiladora; en caso sea de Sandvik es la más versátil en su uso y usa una copa de afilado por cada medida y necesita hasta 6 bares de presión de aire comprimido para su funcionamiento. Esta máquina debe tener conexiones para el agua que servirá de refrigerante de las copas al momento de afilar y por seguridad para no ventilar el polvo producido de los insertos, al momento de afilar; en la conexión que viene del aire comprimido deberá tener una lubricadora que servirá de lubricante en los repuestos que hacen que funcionen la máquina.
- ✓ Implementos de seguridad como: tapón de oído, respirador, lentes de seguridad, casco, overol adecuado y guantes.
- ✓ Brocas desgastadas para afilar.

Se debe afilar:

- Antes que aparezca las microfisuras (piel de serpiente).
- Antes que ocurra la rotura de los insertos.
- Antes que los planos de desgaste sean mayores a $1/3$ del diámetro del inserto.
- Antes que la velocidad de penetración disminuya.
- Antes que se presente el contracono.
- Antes que la desviación del taladro este fuera de control.



FIGURA 114: BROCAS SOBUPERFORADAS

Fuente: Capacitación: Eficiencia en la Perforación – Sandvik

Las brocas sobreperforadas son brocas que tienen el inserto desgastado más de la tercera parte de la medida del diámetro del mismo inserto.

Cuando la broca esta sobreperforada ocasiona:

- Daño a los aceros y la perforadora.
- Los diafragmas se rompen.
- Las brocas en estas condiciones no se podrán restituir a su forma original.
- Disminuye la velocidad de penetración.



FIGURA 115: CORRECTO AFILADO

Fuente: Capacitación: Eficiencia en la Perforación – Sandvik

En esta imagen se observa que un buen afilado es dejar a todos los insertos de la broca en casi su estado esférico a como estuvo cuando era nuevo; casi siempre quedara una pequeña parte que no se podrá afilar en los botones laterales (los botones que tienen casi siempre mayor desgaste que los botones frontales), lo cual midiendo con un vernier o pie de rey debe quedar 3 mm de huella de desgaste en los botones laterales para que sea un buen afilado.



FIGURA 116: DIFERENCIA ENTRE MAL Y BUEN AFILADO DE INSERTOS

Fuente: Capacitación: Eficiencia en la Perforación – Sandvik

Se debe evitar dejar estrías en los botones cuando se afila porque se estaría provocando piel de serpiente o microfisuras que a mediano plazo hará que los botones se rompan o se trituren. Evítese perder demasiado diámetro de broca al afilar especialmente con afiladora de mano.

5.1.1 Beneficios del Afilado

- ✓ Incremento de la velocidad de penetración.
- ✓ Reduce los niveles de esfuerzo en los aceros de perforación y la máquina.
- ✓ Incremento de la productividad.
- ✓ Reduce la desviación de los taladros.
- ✓ Disminución en el consumo de aceros de perforación.

5.1.2 Rendimientos de los Aceros de Perforación Sandvik

En este tópico se verá los rendimientos de los aceros Sandvik sin afilar y afilando las brocas, de las diversas obras que el autor realizo su trabajo de supervisión.

TABLA 15: RENDIMIENTO DE LAS BROCAS SANDVIK EN DIFERENTES OBRAS

Data Histórica de obras visitadas	Diámetro de broca (mm)	Rendimiento (m)		
		Antes (m)	Actual (m)	Incremento
C.H. Cheves	48	450	702	56%
Túnel santa rosa(GYM)	45	458	610	75%
CIA. Yauliyacu	64	350	600	58%
C.H. Chaglla-Odebrecht	51	900	2000	122%
Fuerabamba (GYM)	89	650	975	50%

Fuente: Informes de Asistencia Técnica Fuerabamba GYM – Elaboración Propia

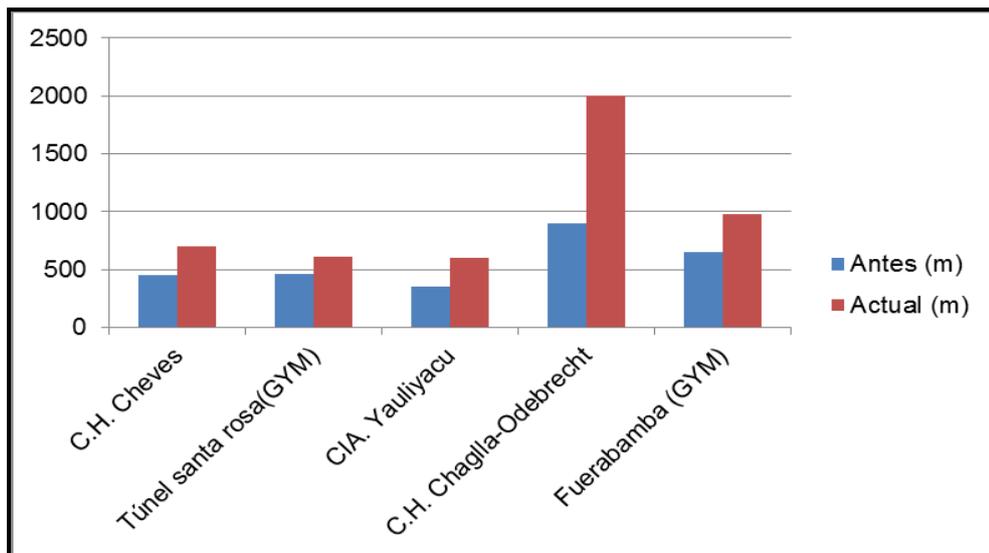


FIGURA 117: COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS SIN AFILAR Y AFILANDO LAS BROCAS

Fuente: Informes de Asistencia Técnica Fuerabamba GYM – Elaboración Propia

TABLA 16: ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL BENEFICIO DEL AFILADO

Material	Costo Unitario (\$)	Unidades de Consumo a la Fecha (08/08/12)	Costo Total (\$)
BROCA	280	8	2,240
BARRA	539	2	1,078
SHANK	359	1	359
TOTAL	1178		3,677

Rendimiento Anterior Promedio (m)	650
Rendimiento Actual Promedio Afilando (m)	845

	Actual	Afilando sería:	Diferencia
Costo Total (\$)	3,677	3,677	
Metros Perforados hasta el 08/08/12	5,200	6,760	1,560
Costo Unitario (\$/m)	0.7071	0.544	- 0.16

Fuente: Informe de Asistencia Técnica Fuerabamba GYM – Elaboración Propia

Como se ve el cuadro, se tendría un ahorro del 0.16 \$/m que significaría en porcentaje, 30% menos del valor del costo que se tenía sin afilar.

A la vez observamos que frente a otra marca de broca, las brocas Sandvik tienen mejor rendimiento.

TABLA 17: DATA DE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACIÓN EN PRUEBA

MARCA	Metros Acumulados		
	Sandvik	Atlas Copco	Diferencia
BROCA 1	1065.5	718.5	347
BROCA 2	761.5	584	177.5
BROCA 3	882	629.5	252.5
BROCA 4	713.5	610.5	103
Suma de metros	3,422.5	3,302.5	
Promedio	855.625	635.625	26%

Fuente: Informe de Prueba Técnica Consorcio Rio Mantaro – Elaboración Propia

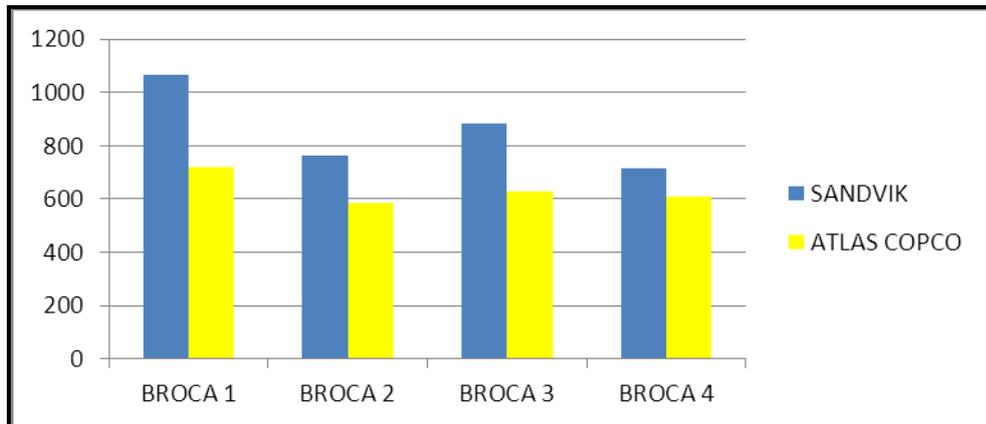


FIGURA 118: COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS DE BROCAS DE DIFERENTES MARCAS

Fuente: Informes de Asistencia Técnica Consorcio Rio Mantaro – Elaboración Propia

Así como las brocas Sandvik tienen buen rendimiento, esto conlleva a que los demás componentes de la columna de perforación también tengan un alto rendimiento superior a otras marcas.

TABLA 18: DATA DE RENDIMIENTO POR CADA COMPONENTE DE LA COLUMNA DE PERFORACIÓN

Metros Acumulados por Componente		
MARCA	SANDVIK	ATLAS COPCO
Broca	855.625	635.625
Barra	2412.3	2266.1
Shank	3772.5	3652.5
Coupling	3772.5	3652.5

Fuente: Informe de Prueba Técnica Consorcio Rio Mantaro – Elaboración Propia

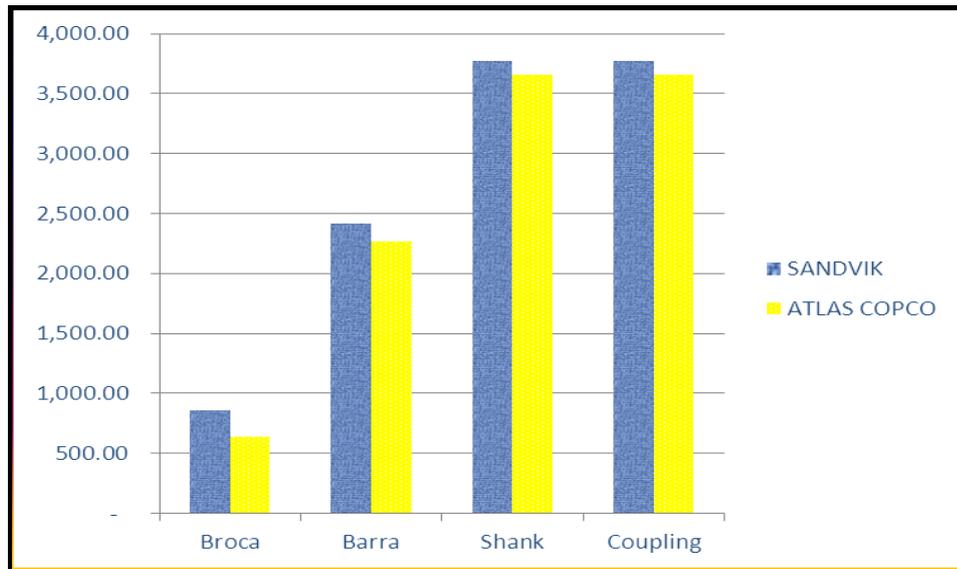


FIGURA 119: COMPARACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACION DE DIFERENTES MARCAS

Fuente: Informes de Asistencia Técnica Consorcio Rio Mantaro – Elaboración Propia

TABLA 19: DATA DE RENDIMIENTOS DE ACEROS DE PERFORACIÓN SANDVIK

Descripción	Promedio Vida Útil en metros
Broca RT300 T51	4,852
Barra MF ROD T51	4,852
SHANK T51	11,369

Fuente: Informe de Asistencia Técnica Cementos Pacasmayo – Elaboración Propia

Concluimos que tanto en perforaciones subterráneas y superficiales, los aceros de perforación Sandvik poseen un buen rendimiento en comparación con la competencia.

5.1.3 Rendimientos de Aceros por Tipo de Columna

A continuación se presenta los rendimientos recolectados en diferentes tipos de obras superficiales en donde operaron los equipos DXs y DP con aceros de perforación Sandvik, cabe resaltar que los rendimientos de los aceros no es lo mismo en todo tipo de terrenos, estos datos solo servirán como referencia para calcular el requerimiento en aceros de perforación, que necesita una obra en forma aproximada

TABLA 20: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T38

	RENDIMIENTO COLUMNA T38 (m)			Velocidad de Perforación Aproximada (m/min)
	ROCA SUAVE	ROCA SEMI DURA	ROCA DURA	
SHANK ADAPTER	2000 - 2500	1800 - 2400	1800 - 2400	1.5 - 1.8
BARRA	1500 - 2000	1200 - 1600	1000 - 1200	
BROCA 2 1/2"	1200 - 2000	600 - 800	200 - 300	
BROCA 3"	1500 - 2000	700 - 900	250 - 350	

Fuente: Informe de Asistencia Técnica Fuerabamba - OHL – Elaboración Propia

TABLA 21: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T45

	RENDIMIENTO COLUMNA T45 (m)			Velocidad de Perforación Aproximada (m/min)
	ROCA SUAVE	ROCA SEMI DURA	ROCA DURA	
SHANK ADAPTER	3000 - 4000	2500 - 3500	2500 - 3000	1.3 - 1.5
BARRA	1500 - 2500	1200 - 2000	1000 - 1500	
BROCA 3"	Mayor a 2000	800 - 1000	250 - 350	
BROCA 3 1/2"	Mayor a 3000	1000 - 1200	250 - 350	

Fuente: Informe de Asistencia Técnica Fuerabamba - OHL – Elaboración Propia

TABLA 22: RENDIMIENTO DE LA COLUMNA T51

	RENDIMIENTO COLUMNA T51 (m)			Velocidad de Perforación Aproximada (m/min)
	ROCA SUAVE	ROCA SEMI DURA	ROCA DURA	
SHANK ADAPTER	4000 - 6000	4000 - 5000	4000	1.1 - 1.3
BARRA	1500 - 2000	1500 - 1800	1400 - 1600	
BROCA 3 1/2"	Mayor a 3000	1000 - 1200	250 - 350	
BROCA 4"	Mayor a 3500	1000 - 1500	250 - 400	
BROCA 4 1/2"	Mayor a 4000	1000 - 1800	250 - 450	
BROCA 5"	Mayor a 5000	1000 - 2000	250 - 500	

Fuente: Informe de Asistencia Técnica Barrick – Mota Engil – Elaboración Propia

5.1.4 Cálculo de Requerimiento de Aceros de Perforación para una Obra

A modo de ejemplo ilustraremos el cálculo del requerimiento de aceros de perforación, usando rendimientos históricos obtenidos de obras anteriores, que se hizo para la Central Hidroeléctrica Chaglla realizada por Constructora Odebrecht.

TABLA 23: CALCULO DE REQUERIMIENTO DE ACEROS DE PERFORACIÓN

Longitud de Túnel (km)	15
Cantidad Taladros / disparo	143
Longitud de barra (pies)	16
Eficiencia perforación	95%
Eficiencia de disparo	80%

Rendimiento Broca (m)	350
Rendimiento Barra (m)	3000
Rendimiento Shank (m)	3500
Rendimiento Broca escariadora (m)	300
Rendimiento Adaptador piloto (m)	300
Datos Referenciales	
Numero de Disparos / Día	5.00
Total de días	809.40
Número de días trabajados /año	300.00
Duración de obra (años)	2.70

Fuente: Área de Proyectos de C.H. Chaglla – Odebrecht

TABLA 24: RESULTADOS DEL REQUERIMIENTO DE ACEROS DE PERFORACIÓN PARA C.H. CHAGLLA - ODEBRECHT

RESULTADOS	
Longitud de barra (m)	4.9
Eficiencia perforación	4.6
Eficiencia de disparo	3.7
Número de disparos cada 6 km	4047
Número de taladros perforados	578,733.68
Metros Perforados	2,681,250.00
Requerimiento de Aceros de Perforación Total	
Cantidad de Brocas Requerida	7661
Cantidad de Barras Requerida	894
Cantidad de Shank requeridos	766
Cantidad de Brocas Escariadoras requeridos	559
Cantidad de Adaptadores Piloto Requerido	559

Fuente: Área de Proyectos de C.H. Chaglla – Odebrecht

Este requerimiento es para toda la duración de la obra, las cantidades de acero de perforación están dadas en forma aproximada.

5.2 ALINEAMIENTO DEL TALADRO

Para tener una excelente eficiencia en perforación debemos cuidar el alineamiento o paralelismo entre taladros, porque un taladro desviado provoca que la voladura salga defectuosa en forma de fragmentación inadecuada que afectaría al carguío generando costos de voladura secundaria y posiblemente costo por avería de equipos de carguío. Lo que causa que no tengamos el alineamiento deseado puede ser:

- Fuerza de gravedad sobre la columna.
- Posicionamiento del equipo.
- Alineamiento de la viga o emboquillado.
- Presión de avance.
- Longitud del taladro.
- Estructura de la roca (Geológica).
- Uso de broca sobreperforada.

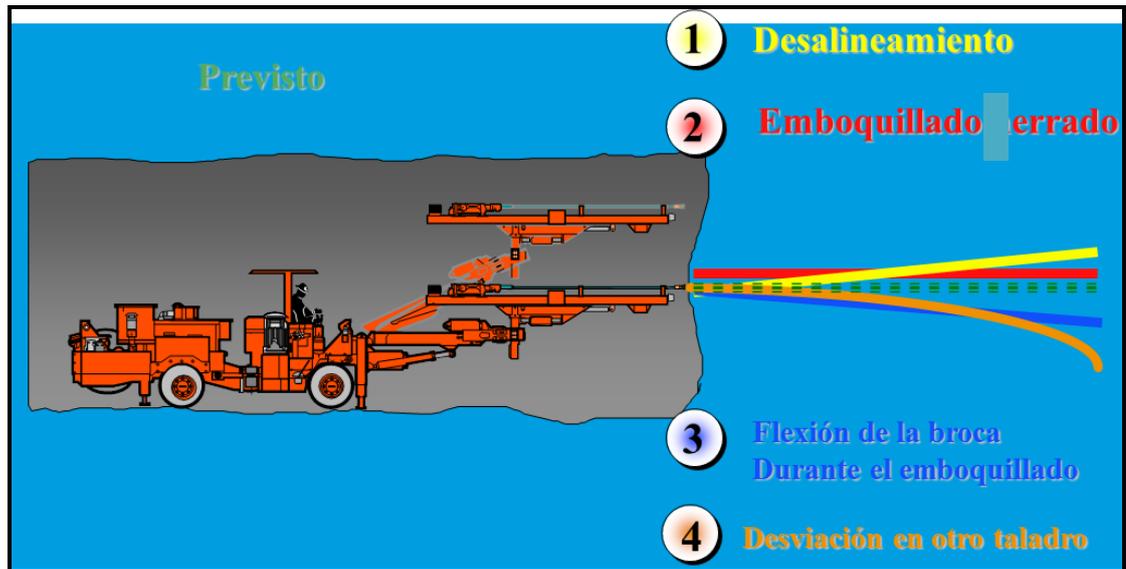


FIGURA 120: ERRORES COMUNES EN LA PERFORACIÓN

Fuente: Capacitación: Eficiencia en la Perforación – Sandvik

Se debe tener especial cuidado con el emboquillado, es la llave para realizar una perforación eficiente y si se perfora taladros de grandes longitudes emplear el tubo guía y brocas retráctiles para obtener buen paralelismo.

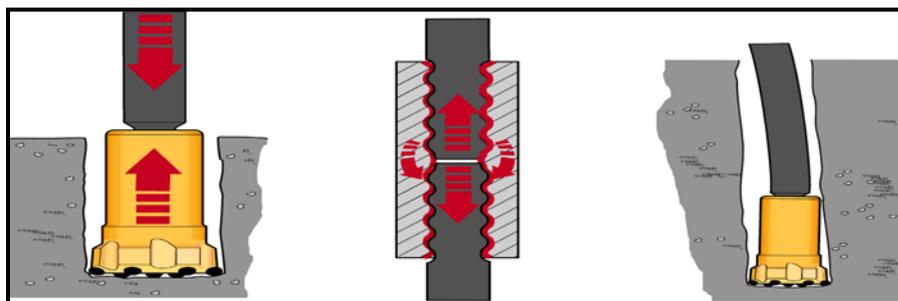


FIGURA 121: CONSECUENCIAS DEL MAL EMBOQUILLADO

Fuente: Capacitación: Eficiencia en la Perforación – Sandvik

Emplear la broca retráctil en terreno fracturado o desigual para evitar la desviación de taladro y en retirada para facilitar la extracción de la columna de perforación evitando atascos.

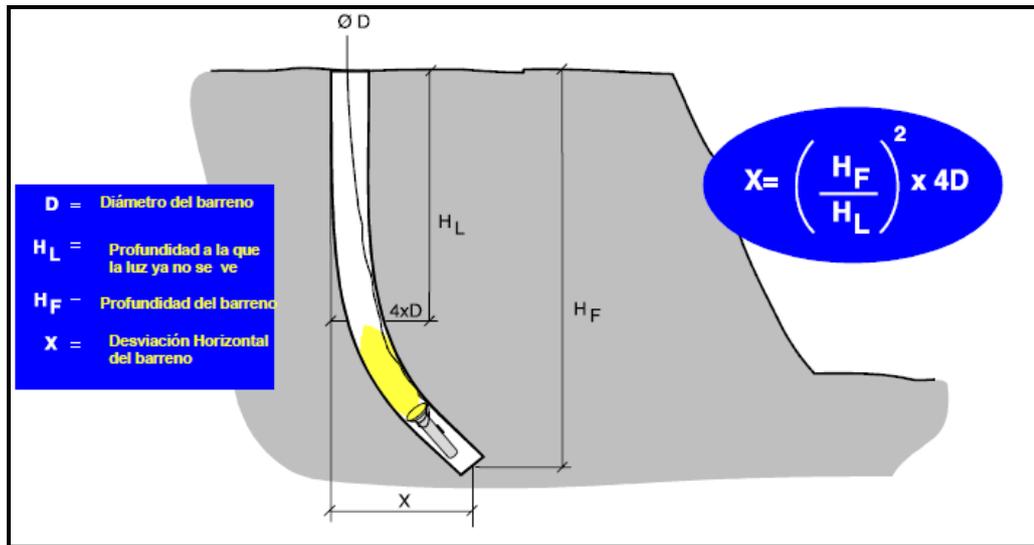


FIGURA 122: FÓRMULA PARA CALCULAR LA DESVIACIÓN DEL TALADRO

Fuente: Capacitación: Desviación de Taladro – Sandvik

CONCLUSIONES

- 1) Se demostró que los aceros de perforación analizados tiene buen rendimiento en cualquier tipo de terreno, pudiéndose incrementar con el afilado de los botones o insertos en un 30% de vida útil; también es importante seleccionar los aceros adecuados para la maquina adecuada para obtener su máxima eficiencia.
- 2) Una mala selección de copas de afilado de brocas, ocasionara un afilado incorrecto que provocara rotura de los insertos cuando se está perforando.
- 3) Cuando se reduce el diámetro de broca o se cambia de columna grande a una menor, se obtiene mayor RPM y mayor velocidad de rotación, esto es mayormente aplicable en terreno suave pero cuando se tiene terreno duro, no es muy aplicado debido a que como el terreno es duro, la broca sufrirá para triturar a la roca por tener menos botones en contacto y no se obtendrá mucho avance provocando que la fuerza que produce el

martillo retorne por toda la columna de perforación dañando a los aceros y al martillo.

- 4) Las brocas sobre perforadas (no afiladas) no trituran a la roca y toda la fuerza transmitida a través del golpe de martillo por la perforadora retorna causando destrucción en la columna de perforación como despostillamientos, picaduras, roturas en las roscas del Shank, barra y broca, influyendo en el rendimiento de estos.
- 5) Las DXs son los equipos más versátiles en su clase; debido a su posicionamiento y a las múltiples aplicaciones que tiene para distintos trabajos en diferentes posiciones.
- 6) La excesiva presión de avance, rotación, percusión agregado al uso de brocas sobre perforadas produce rotura de la columna de perforación (Shank, Coupling, barra y broca) y disminución de su vida útil. Así mismo origina la desviación del taladro influyendo negativamente en la voladura lo cual involucraría mayor horas/máquina y disminución de la producción diaria.
- 7) Se demostró en campo que las brocas marca Sandvik trabajan eficientemente en cualquier tipo de terreno y con un buen afilado de insertos, supera en muchas ocasiones los rendimientos establecidos (Ver tabla 17). Al afilar correctamente no solo incrementamos el rendimiento de las brocas sino también el de los demás componentes de la columna de perforación. (Ver tabla 18).

- 8)** La pérdida de botones en las brocas es debido a la percusión en vacío (esto es debido a que el terreno es fracturado y no todos los botones de la broca tienen contacto con el macizo rocoso), falla del tipo “piel de serpiente” (microfisuras en los botones originados por la abrasividad del terreno que se ve reflejado en el aspecto brillante y escamoso en los botones pero que microscópicamente se ven fisuras que si no se desaparece con el afilado, provoca pérdida de botones por corte en la broca).
- 9)** Las barras con picaduras, son producto de la percusión en vacío que se realiza involuntariamente debido al terreno fracturado o suave (en muchos casos se tiene que re-perforar porque se tapan los taladros) y al momento del desacople entre las mismas barras.
- 10)** En los cambios de diámetro de la columna de perforación se produce pérdida de energía, tales como en uniones y en roscas.

Barras MF	~ 4%
Barras de doble rosca	~ 6%

- 11)** Se ha determinado que en la perforación Top Hammer se aprovecha como máximo un 75% de la energía suministrada para perforar, o para triturar la roca. El restante de la energía se pierde en el desgaste de los aceros de perforación y componentes del equipo.

RECOMENDACIONES

- 1) Implementar el taller de afilado de brocas para obtener mayor vida útil de las brocas. Afilan las brocas cuando tengan un desgaste de la 1/3 parte de su diámetro (de cada inserto). Los botones laterales son los que sufren mayor desgaste y si hay demasiado desgaste lateral, cuando se afila dejar la huella del desgaste como máximo a 3 mm.
- 2) Revisar los acumuladores de energía cada semana o quincena para ver si necesita recargar los acumuladores de baja y alta y no perjudicar al martillo de perforación que puede ocasionar rompimiento en los hilos de rosca del Shank y barra. Revisar y reportar las pequeñas fallas en los equipos de perforación para evitar grandes paradas en el futuro.
- 3) Los centralizadores deben tener luz con la barra de 5 mm.
- 4) No realizar percusiones si la broca no esté pegada a la roca, uso reducido de la percusión cuando se tiene superficies desiguales. Cuando la perforación se realiza en roca semidura y fracturada, tener cuidado

con el barrido de aire. Y para preservar el alineamiento usar la broca retráctil.

- 5) La perforación de un frente de trabajo es detenida constantemente para buscar enderezar el taladro o con la intención que la barra no se doble demasiado (taladro desviado). Es importante que los perforistas; realicen un buen emboquillado para así evitar que los taladros salgan desviados y tener tiempos muertos por reperfusión.
- 6) Si se quiere cambiar la columna de perforación (Por Ejemplo: De T38 a T45), se lograra mayor cantidad de material acumulado, menos horas/máquina, aumentara la dimensión de la malla de perforación, se hará menos taladros pero la desventaja es que la velocidad de penetración disminuirá.
- 7) Almacenar correctamente los shanks, las barras y las brocas en un lugar alejado de las condiciones climáticas (lluvias y garuas) y separarlos entre ellas para evitar que se golpeen, que a futuro puede provocar rotura por picaduras.
- 8) Las barras almacenadas deben estar separadas entre ellas para evitar que se golpeen y se astillen; a la vez encontrarse lejos de las condiciones climáticas como humedad y lluvia que provoca la oxidación y debilitamiento del cuerpo. También las brocas tienen que estar separadas y jamás juntas para evitar que se golpeen los insertos que a

largo plazo se debilitan produciéndose roturas cuando se emplea en operación.

- 9) El jumbo no se utiliza para desatar rocas, porque al percutar en rocas sueltas se deteriora los aceros de perforación y se daña los componentes del martillo hidráulico.
- 10) No mezclar aceros usados con nuevos porque las roscas usadas no engranan correctamente con las roscas nuevas; más bien provocan desgaste a las roscas nuevas.
- 11) Si el taladro no está correctamente alineado y ya se tiene más de 20 cm de profundidad, no corregir el taladro moviendo la viga porque causa flexión, daño a la parte más débil (roscas y Coupling) de la barra; es preferible perforar otro taladro.
- 12) Cubrir el recipiente donde se almacena la grasa grafitada para las roscas, esto debido a que cuando las partículas de roca se impregnan en la grasa y esta es colocada a las roscas, provocan despostillamientos en las roscas de las barras, broca y shank.
- 13) Hacer mantenimiento periódico a la maquina como lavado o cambio de filtros, esto debido a la condición del frente de trabajo (polvo). También revisión semanal de acumuladores. Esto ayudara al buen funcionamiento del equipo y sus accesorios.

- 14) Usar aceros de una sola marca en la columna de perforación, porque no todos los aceros tienen la misma calidad de aleación.
- 15) En la perforación con los equipos DXs y DPs, se sugiere intercalar las barras en el carrusel para obtener un desgaste uniforme de las roscas y la rosca del shank.
- 16) Comprobar y disminuir la desviación de los taladros para evitar el despostillamiento de la rosca del Shank. Si se perfora con más de tres barras se recomienda usar el tubo guía para ayudar a mantener el paralelismo de los taladros.
- 17) Usar la broca retráctil porque debido a su forma ayuda a reducir el desviamiento del taladro y también, evita problemas de atascos de toda la columna de perforación debido a las canaletas verticales que tiene en todo su contorno.
- 18) Capacitar a los operadores constantemente debido a la alta demanda de operadores que se tiene en el país por la llegada de equipos de última generación y son pocos los operadores que conocen el correcto funcionamiento de estos; realizando capacitaciones en manejo y funcionamiento, no solo aprovecharemos todas las bondades de los equipos, sino también haremos trabajos de calidad con gente de calidad.
- 19) Cambiar el dowel o tambor de emboquillado periódicamente; porque es el elemento que se desgasta al momento del emboquillado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso R., Fco. Javier (2007). Caracterización de los Macizos Rocosos. Oviedo, España: Facultad de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo. Colección de Revistas Mining, World Mining Equipment, Mining Magazine, Mining Journal, etc., Sandvik.
2. Giraldo P., E. Mauro (2010). Las maquinas tuneleras tipo "TBM" como alternativa al sistema de perforación y voladura para la excavación de túneles; caso: desarrollo de túneles en Yuncan. Tesis. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
3. Colección de Revistas Drilling Equipment, Atlas Copco.
4. López J., Carlos (2000). Manual de Túneles y Obras Subterráneas. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S.A.
5. Odebrecht (2011). Proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla (presa y túnel de aducción) Chaglla Hydropower Project.

6. Cheves (2011). Proyecto Central Hidroeléctrica Cheves (túnel acceso y desvió) Cheves Hydropower Project. Lima, Perú.
7. Escobar Saraice, Abel (2010, 2011,2012 y 2013). Informes internas de asistencias técnicas, capacitaciones y catálogo de falla de aceros de perforación.
8. Tapia Cubillos, Milton (2006). Índices de Perforabilidad: Una variable de Terreno en Perforación Rotativa. Su Uso en el Diseño de Mallas de Tronaduras en Minas a Cielo Abierto. Antofagasta, Chile: Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Antofagasta.
9. Catálogos de serie de equipos DXs y DPs, aplicaciones y capacitaciones internas, Sandvik.
10. Mota Enrique (2009), Capacitaciones de aceros de perforación, Sandvik – Chile.
11. Guzmán V. Ronald (2009), Perforación y Tronadura 2009, Universidad de Chile